

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE QUÍMICA

**ANÁLISE ECOTOXICOLÓGICA E QUÍMICA DA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE  
LATICÍNIOS EM GOIÁS**

**VICTOR VINICIUS BATISTA MACHADO**

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Inês Gonçalves Leles  
Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Gizelda de Oliveira Tavares

GOIÂNIA – GO  
2011

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**       **Dissertação**       **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

Autor (a):	Victor Vinicius Batista Machado		
E-mail:	Victorv.b.m@gmail.com		
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página?	<input checked="" type="checkbox"/> Sim	<input type="checkbox"/> Não	
Vínculo empregatício do autor			
Agência de fomento:	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico	Sigla:	CNPq
País:	Brasil	UF:	GO CNPJ: 33.654.831/0001-36
Título:	Análise Ecotoxicológica e Química da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Laticínios em Goiás.		
Palavras-chave:	tratamento de efluentes de laticínio; ecotoxicologia; análise térmica; Eficiência do tratamento.		
Título em outra língua:	Ecotoxicological and Chemical Analysis of Effluent Treatment Plant of a Dairy Industry in Goiás.		
Palavras-chave em outra língua:	Treatment of dairy effluents; ecotoxicology; thermal analysis; Treatment efficiency.		
Área de concentração:	Química		
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	26/08/2011		
Programa de Pós-Graduação:	Mestrado em Química		
Orientador (a):	Maria Inês Gonçalves Leles		
E-mail:	inesleles@gmail.com		
Co-orientador (a):*	Maria Gizelda de Oliveira Tavares		
E-mail:	giza_otm@hotmail.com		

\*Necessita do CPF quando não constar no SisPG

**3. Informações de acesso ao documento:**

Liberação para disponibilização?<sup>1</sup>       total       parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

Capítulos. Especifique: \_\_\_\_\_

Outras restrições: \_\_\_\_\_

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

\_\_\_\_\_   
Assinatura do (a) autor (a)

Data: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

<sup>1</sup> Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.



**UFG**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE QUÍMICA**

**ANÁLISE ECOTOXICOLÓGICA E QUÍMICA DA ESTAÇÃO DE  
TRATAMENTO DE EFLUENTES DE UMA INDÚSTRIA DE  
LATICÍNIOS EM GOIÁS**

**VICTOR VINICIUS BATISTA MACHADO**

Dissertação apresentada ao Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás como exigência para a obtenção do título de Mestre em Química.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Inês Gonçalves Leles  
Co-Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Gizelda de Oliveira Tavares

**Goiânia  
2011**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)  
GPT/BC/UFG**

M149a Machado, Victor Vinicius Batista.  
Análise Ecotoxicológica e Química da Estação de Tratamento de Efluentes de uma Indústria de Laticínios em Goiás [manuscrito] / Victor Vinicius Batista Machado. - 2011.  
xi, 94 f. : il., figs, tabs.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Inês Gonçalves Leles; Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Maria Gizelda de Oliveira Tavares.

Dissertação (Mestrado) ó Universidade Federal de Goiás, Instituto de Química, 2011.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, abreviaturas, siglas e tabelas.

Anexos.

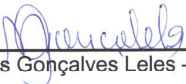
1. Ecotoxicologia. 2. Tratamento de efluentes de laticínio. 3. Análise térmica. I. Título.

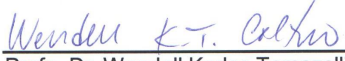
CDU: 574.64:628.1


## FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da Comissão Julgadora de Dissertação de Mestrado em Química, apresentada ao Instituto de Química da Universidade Federal de Goiás, em 26/08/2011.

Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Maria Inês Gonçalves Leles – IQ/UFG

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Dr. Wendell Karlos Tomazelli Coltro – IQ/UFG

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Carlos Henrique Hoff Brait – CESUT

Dedico este trabalho aos meus pais  
principalmente a minha querida mãe  
pelo apoio concedido.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus que me dá forças e sabedoria para sempre perseverar no que é certo.

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Inês Gonçalves Leles pela orientação, transparência e liberdade.

A Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Gizelda de Oliveira Tavares pela co-orientação e ajuda quanto às análises e resultados.

Aos meus colegas de laboratório Lucas, Pedro, Carla, Yara e demais estudantes que muito me ajudaram nas análises laboratoriais e pelo clima de descontração que sempre tivemos no nosso ambiente de trabalho.

Meu agradecimento ao CNPq pelo auxílio financeiro concedido por intermédio de uma bolsa de pesquisa, na qual permitiu que eu trabalhasse, em tempo integral, a pesquisa.

Ao Dr. Carlos Brait, Laboratório Exata, pelas análises de metais.

Aos donos da empresa de laticínios pelo apoio e paciência.

E a todos que conheci nesse tempo de aprendizado nesta Universidade.

"A vida só pode ser compreendida olhando-se para trás; mas só pode ser vivida, olhando-se para frente."

Soren Kierkegaard



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE EQUAÇÕES</b>	i
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	ii
<b>LISTA DE TABELAS</b>	iv
<b>LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS</b>	viii
<b>RESUMO</b>	x
<b>ABSTRACT</b>	xi
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
1.1 A Indústria de Laticínios em Goiás	1
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	3
2.1 Aspectos gerais do leite	3
2.2 Microorganismos que alteram a qualidade do leite	3
2.2.1 Microorganismos patogênicos	5
2.3 Limpeza e sanitização na indústria de laticínios (GAVA, 1984)	8
2.3.1 Pré-lavagem (GAVA, 1984)	8
2.3.2 Limpeza com detergentes	8
2.3.2.1 Detergentes alcalinos	9
2.3.2.2 Detergentes ácidos (GAVA, 1984)	10
2.3.2.3 Detergentes tensoativos (GAVA, 1984)	10
2.3.2.4 Agentes sequestrantes e quelantes (GAVA, 1984)	11
2.3.3 Nova lavagem ou enxágue	12
2.3.4 Sanitização (GAVA, 1984)	12
2.4 Natureza dos efluentes líquidos (MAGANHA, 2006)	13
2.4.1 Características físico-químicas dos efluentes líquidos	13
2.5 Tratamento dos efluentes líquidos das indústrias de laticínios	15
2.5.1 Considerações gerais	15
Esses processos são chamados de preliminar, primário, secundário e terciário, cada um é estabelecido de acordo com a natureza do efluente a ser tratado, Tabela 5 (DEZOTTI, 2008).	17
2.5.2 Tratamento preliminar (DEZOTTI, 2008)	17
2.5.3 Tratamento primário	17
2.5.4 Tratamento secundário	20

2.5.5 Tratamento terciário	22
2.6 Ecotoxicologia	24
<b>3. OBJETIVO GERAL</b>	<b>27</b>
3.1 Objetivos Específicos	27
<b>4. METODOLOGIA</b>	<b>28</b>
4.1 Caracterização do objeto de estudo	28
4.2 Coleta das amostras	29
4.3 Parâmetros físico-químicos	30
4.4 Análise química dos metais	31
4.4.1 Reagentes e equipamentos	31
4.4.2 Preparação das amostras	32
4.4.3 Digestão das amostras e do branco	32
4.4.4 Determinação de zinco (Zn), cobre (Cu), cádmio (Cd) e chumbo (Pb)	32
4.4.5 Limites de detecção e quantificação.	33
4.5 Análise termogravimétrica	33
4.5.1 Pré-tratamento das amostras	33
4.5.2 Determinação das curvas termogravimétricas	33
4.6 Ecotoxicologia	34
4.6.1 Organismo teste	34
4.6.2 Água de diluição	35
4.6.3 Testes de sensibilidade	35
4.6.4 Testes de toxicidade aguda	36
4.7 Resultados dos testes de toxicidade aguda e outras análises estatísticas	39
4.7.1 Estimativa da CL <sub>50</sub>	39
4.7.2 Outras análises estatísticas	39
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>41</b>
5.1 Análise da eficiência da ETE através dos parâmetros DBO, DQO, ST e óleos e graxas	41
5.1.1 DBO	41
5.1.2 DQO	42
5.1.3 Relação DBO/DQO	43
5.1.3.1 Ponto A do efluente	44
5.1.3.2 Ponto D do efluente	45
5.1.3.3 Ponto F do efluente	46
5.1.4 Sólidos totais	47
5.1.5 Óleos e graxas	48
5.2 Análises de metais	49
5.3 Análise Termogravimétrica	50
5.4 Ecotoxicologia	54
5.4.1 Teste de Sensibilidade	54
5.4.2 Testes de toxicidade	55
5.4.2.1 Ponto A do efluente	55
5.4.2.2 Ponto D do efluente	59
5.4.2.3 Ponto F do efluente	63
5.5 Análises da eficiência da ETE em termos de redução de toxicidade	67

<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>69</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO A Ë CURVAS PADRÕES DOS ELEMENTOS</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO B Ë PORCENTAGEM DA MORTALIDADE DOS PEIXES NOS TESTES PRELIMINARES</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO C Ë PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS MEDIDOS PARA OS EFLUENTES A, D E F PARA O CÁLCULO DE EFICIÊNCIA</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO D Ë CONCENTRAÇÃO DOS METAIS Zn, Cu, Cd E Pb NOS EFLUENTES A, D E F</b>	<b>81</b>
<b>ANEXO E Ë CÁLCULO DA RELAÇÃO DBO/DQO PARA OS EFLUENTES A, D E F</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO F Ë OUTPUT DA ANÁLISE DE PCA PARA TODOS OS TESTES DE TOXICIDADE</b>	<b>83</b>
<b>8. CURRICULUM VITAE</b>	<b>95</b>

## LISTA DE EQUAÇÕES

**Equação 1** – Cálculo da eficiência em relação a um parâmetro qualquer 39

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Fluxograma de um sistema de tratamento de efluentes.	23
<b>Figura 2.</b> Sistema de tratamento físico-químico do efluente da ETE analisada.	28
<b>Figura 3.</b> Visão geral da Estação de Tratamento de Efluente.	29
<b>Figura 4.</b> Equipamento Digesdahl Digestion Apparatus	31
<b>Figura 5.</b> Peixe <i>Danio rerio</i> .	34
<b>Figura 6.</b> Gráfico de eficiência da redução de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	42
<b>Figura 7.</b> Gráfico de eficiência da redução de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	43
<b>Figura 8.</b> Concentrações de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em função de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), ponto A	44
<b>Figura 9.</b> Concentrações de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em função de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), ponto D	45
<b>Figura 10.</b> Concentrações de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em função de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), ponto F	46
<b>Figura 11.</b> Gráfico de eficiência da redução de ST	47
<b>Figura 12.</b> Gráfico de eficiência da redução de OG	49
<b>Figura 13.</b> Curvas TG do efluente no ponto A nas coletas realizadas	51
<b>Figura 14.</b> Curvas TG do efluente no ponto D nas coletas realizadas	52
<b>Figura 15.</b> Curvas TG do efluente no ponto F nas coletas realizadas	53
<b>Figura 16.</b> PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes A <sub>1</sub>	57
<b>Figura 17.</b> PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes A <sub>2</sub>	58

<b>Figura 18.</b> PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes D <sub>1</sub>	61
<b>Figura 19.</b> PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes D <sub>2</sub>	62
<b>Figura 20.</b> PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes F <sub>1</sub>	65
<b>Figura 21.</b> PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes F <sub>2</sub>	66
<b>Figura A1</b> Curvas-padrão dos metais Pb, Cd, Cu e Zn	78
<b>Figura F1</b> Gráfico dos autovalores do teste A <sub>1</sub>	84
<b>Figura F2</b> Gráfico dos autovalores do teste A <sub>2</sub>	86
<b>Figura F3</b> Gráfico dos autovalores do teste D <sub>1</sub>	89
<b>Figura F4</b> Gráfico dos autovalores do teste D <sub>2</sub>	90
<b>Figura F5</b> Gráfico dos autovalores do teste F <sub>1</sub>	92
<b>Figura F6</b> Gráfico dos autovalores do teste F <sub>2</sub>	94

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> “Ranking” dos Estados da Federação na produção de leite e taxa de crescimento da atividade no período de 2008 a 2010	1
<b>Tabela 2.</b> Características dos resíduos encontrados nos equipamentos.	9
<b>Tabela 3.</b> Caracterização dos efluentes não tratados das indústrias de laticínios.	14
<b>Tabela 4.</b> Valores da relações DBO5/DQO para alguns produtos comerciais	15
<b>Tabela 5.</b> Níveis de tratamento dos efluentes.	16
<b>Tabela 6.</b> Espécies químicas empregadas no processo de coagulação/floculação.	19
<b>Tabela 7.</b> Vantagens e desvantagens do uso do sistema de lodos ativados	20
<b>Tabela 8.</b> Vantagens e desvantagens dos reatores UASB.	21
<b>Tabela 9.</b> Tratamento terciário, tipo de remoção e suas aplicações.	22
<b>Tabela 10.</b> Condições de armazenamento das amostras coletas.	30
<b>Tabela 11.</b> Métodos utilizados na determinação dos parâmetros físico-químicos.	31
<b>Tabela 12.</b> Condições de análise das amostras por Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado.	33
<b>Tabela 13.</b> Condições para as análises das amostras por termogravimetria.	34
<b>Tabela 14.</b> Volume das amostras dos pontos A, D e F para o preparo das soluções teste para os testes preliminares.	37
<b>Tabela 15.</b> Soluções teste dos efluentes A, D e F para os ensaios definitivos de toxicidade aguda; data: 14/07/2010.	37

<b>Tabela 16.</b> Soluções teste dos efluentes A, D e F para os ensaios definitivos de toxicidade aguda; data: 05/04/2011	38
<b>Tabela 17.</b> Resumo da configuração do teste definitivo de toxicidade aguda.	38
<b>Tabela 18.</b> Porcentagens da redução de DBO entre os pontos de coleta A – D, D – F e A – F.	41
<b>Tabela 19.</b> Porcentagens da redução de DQO entre os pontos de coleta A – D, D – F e A – F.	42
<b>Tabela 20.</b> Número de amostras utilizadas para a obtenção dos valores médios de DBO, DQO e a relação DBO/DQO e seu desvio-padrão.	44
<b>Tabela 21.</b> Número de amostras utilizadas para a obtenção dos valores médios de DBO, DQO e a relação DBO/DQO e seu desvio-padrão.	45
<b>Tabela 22.</b> Número de amostras utilizadas para a obtenção dos valores médios de DBO, DQO e a relação DBO/DQO e seu desvio-padrão.	46
<b>Tabela 23.</b> Porcentagens da redução de ST entre os pontos de coleta.	47
<b>Tabela 24.</b> Porcentagens da redução de OG entre os pontos de coleta A – D, D – F e A – F.	48
<b>Tabela 25.</b> Concentração média e remoção para os parâmetros determinados.	49
<b>Tabela 26.</b> Porcentagem da mortalidade dos peixes submetidos a diferentes concentrações do efluente do ponto A.	55
<b>Tabela 27.</b> Valores de CL50:48h, para os testes de toxicidade para o efluente do ponto A.	55
<b>Tabela 28.</b> Porcentagem da mortalidade dos peixes submetidos a diferentes concentrações do efluente do ponto D.	59
<b>Tabela 29.</b> Valores de CL50:48h, para os testes de toxicidade para o efluente D.	59
<b>Tabela 30.</b> Porcentagem da mortalidade dos peixes submetidos a diferentes concentrações do efluente do ponto F.	63
<b>Tabela 31.</b> Valores de CL50:48h, para os testes de toxicidade para o efluente F.	63
<b>Tabela 32.</b> Porcentagens da redução de toxicidade do efluente de laticínio	



nos pontos A e F para os valores de CL50:48h	67
<b>Tabela B1.</b> Porcentagem de mortalidade em cada concentração do teste preliminar na data: 05/03/2010.	79
<b>Tabela C1.</b> Parâmetros físico químicos medidos para os efluentes A, D e F, suas médias e seus desvios padrões.	80
<b>Tabela D1.</b> Concentração dos metais Cd, Pb, Cu e Zn nos efluentes do ponto A, D e F, o seu valor médio e seu desvio padrão.	81
<b>Tabela E1.</b> Planilha de cálculos contendo os valores das concentrações de DBO e DQO do efluente no ponto A. Valores utilizados para a determinação das concentrações médias de DBO e DQO, relação DBO/DQO e o desvio padrão desta relação.	82
<b>Tabela E2.</b> Planilha de cálculos contendo os valores das concentrações de DBO e DQO do efluente no ponto D. Valores utilizados para a determinação das concentrações médias de DBO e DQO, relação DBO/DQO e o desvio padrão desta relação.	82
<b>Tabela E3.</b> Planilha de cálculos contendo os valores das concentrações de DBO e DQO do efluente no ponto F. Valores utilizados para a determinação das concentrações médias de DBO e DQO, relação DBO/DQO e o desvio padrão desta relação.	82
<b>Tabela F1.</b> Estatística descritiva teste A1	83
<b>Tabela F2.</b> Matriz de correlação das variáveis no teste A1	83
<b>Tabela F3.</b> KMO e teste de Bartlett's para o teste A1	84
<b>Tabela F4.</b> Variância total extraída e os autovalores para o teste A1	84
<b>Tabela F5.</b> Estatística descritiva teste A2	85
<b>Tabela F6.</b> Matriz de correlação das variáveis no teste A2	85
<b>Tabela F7.</b> KMO e teste de Bartlett's para o teste A2	86
<b>Tabela F8.</b> Variância total extraída e os eigenvalues para o teste A2	86
<b>Tabela F9.</b> Estatística descritiva teste D1	87
<b>Tabela F10.</b> Matriz de correlação das variáveis no teste D1	87
<b>Tabela F11.</b> KMO e teste de Bartlett's para o teste D1	88

<b>Tabela F12.</b> Variância total extraída e os autovalores para o teste D1	88
<b>Tabela F13.</b> Estatística descritiva teste D2	89
<b>Tabela F14.</b> Matriz de correlação das variáveis no teste D2	89
<b>Tabela F15.</b> KMO e teste de Bartlett's para o teste D2	90
<b>Tabela F16.</b> Variância total extraída e os autovalores para o teste D2	90
<b>Tabela F17.</b> Estatística descritiva teste F1	91
<b>Tabela F18.</b> Matriz de correlação das variáveis no teste F1	91
<b>Tabela F19.</b> KMO e teste de Bartlett's para o teste F1	92
<b>Tabela F20.</b> Variância total extraída e os autovalores para o teste F1	92
<b>Tabela F21.</b> Estatística descritiva teste F2	93
<b>Tabela F22.</b> Matriz de correlação das variáveis no teste F2	93
<b>Tabela F23.</b> KMO e teste de Bartlett's para o teste F2	94
<b>Tabela F24.</b> Variância total extraída e os autovalores para o teste F2	94

## LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>CE<sub>50</sub></b>	Concentração efetiva
<b>CETESB</b>	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>CL<sub>50:48h</sub></b>	Concentração que causa letalidade em 50% dos indivíduos em 48 horas de exposição
<b>CP</b>	Componente Principal
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
<b>DP</b>	Desvio padrão
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b>EBT</b>	Efluente tratamento biológico (antes da clarificação)
<b>EPT</b>	Efluente tratamento primário
<b>ETE</b>	Estação de Tratamento de Esgoto
<b>EST</b>	Efluente tratamento biológico (após clarificação)
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IBM</b>	International Business Machines
<b>ICP</b>	Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)
<b>LD</b>	Limite de detecção
<b>LQ</b>	Limite de quantificação

<b>OD</b>	Oxigênio Dissolvido
<b>OG</b>	Oléos e graxas
<b>PCA</b>	Principal component analysis
<b>pH</b>	Potencial Hidrogeniônico
<b>RW</b>	Efluente bruto
<b>SEMARH - GO</b>	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás
<b>spp</b>	espécimes
<b>SPSS</b>	Statistical Package for the Social Sciences
<b>ST</b>	Sólidos Totais
<b>TDS</b>	Totais de Sólidos Dissolvidos
<b>TG</b>	Termogravimetria
<b>UASB</b>	Upflow Anaerobic Sludge Blanke ou Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente em Manto de Lodo
<b>UFC/mL</b>	Unidade Formadora de Colônias por mililitro

## RESUMO

As indústrias de laticínios representam um dos setores mais importantes para a economia de Goiás. Devido à intensa industrialização aliada à falta de mão de obra especializada, faz com que essas indústrias produzam, na maioria das vezes, sem se preocuparem com os resíduos gerados. Além dos resíduos sólidos essas indústrias geram efluentes com alta carga poluidora podendo afetar a qualidade da água dos corpos de água receptores e dos solos. Diante desse cenário, surgiu a necessidade de se realizar um estudo dos riscos inerentes a esse tipo de efluente, tanto no ponto de vista físico-químico como do ecotoxicológico. Para isso foram realizados estudos de toxicidade aguda, com o peixe *Danio rerio*, para a avaliação da toxicidade dos efluentes em pontos pré-definidos da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) analisada (pontos A, D e F). Para avaliar a eficiência da ETE foram medidos alguns parâmetros físico-químicos (pH, condutividade, turbidez, DBO, DQO, ST, OG entre outros) bem como foi realizada uma análise química dos metais Zn, Cd, Cu e Pb. Para os resíduos sólidos desse efluente foram realizadas análises termogravimétricas. Avaliou-se através de modelos matemáticos a eficiência da ETE quanto aos parâmetros medidos, que ao longo de todo o processo de tratamento se mostrou ineficiente, apresentando na sua maioria, valores negativos. Os testes de toxicidade aguda realizados com os organismos teste em contato com o efluente do laticínio, coletado em diversos pontos da estação, permitiram o cálculo da  $CL_{50}$  que indicou uma toxicidade moderada a muito tóxica dos efluentes analisados.

**Palavras-chave:** tratamento de efluentes de laticínio; ecotoxicologia; análise térmica; Eficiência do tratamento.

## ABSTRACT

The dairy industries represent one of the most important sectors for the economy of Goiás. The intense industrialization, together with the lack of specialized labor, means that these industries generally produce without any concern for the waste generated. Besides solid waste, these industries generate effluents with high levels of pollution that can affect the water and soil quality, in water bodies into which they flow. Faced with this scenario, the need arose to carry out a study of the risks inherent to this type of effluent, both from a physical-chemical and ecotoxicological point of view. For this purpose, acute toxicity studies were carried out with the Zebrafish (*Danio rerio*), to evaluate the toxicity of the effluents in pre-defined points of the Wastewater Treatment Plant (WTP) analyzed (points A, D and F). To evaluate the efficiency of the WTP, some physical-chemical parameters were measured (pH, conductivity, cloudiness, BOD, COD, TS, OG among others), and a chemical analysis was carried out of the metals Zn, Cd, Cu and Pb. To determine the solid residues in the effluent, thermogravimetric analyses were performed. Through mathematical models, the efficiency of the WTP was evaluated in terms of the parameters measured, which throughout the treatment process, proved inefficient, presenting mainly negative values. The tests of acute toxicity carried out with the test organisms in contact with the effluent from the dairy effluent, collected in various points of the plant, enabled the LC50 to be calculated, which indicated a moderate to high toxicity of the effluents analyzed.

**Keywords:** Treatment of dairy effluents; ecotoxicology; thermal analysis; Treatment efficiency.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 A Indústria de Laticínios em Goiás

O setor lácteo representa, para a economia goiana, um dos setores mais importantes sendo classificado, em nível nacional, como um dos maiores pólos de produção e recepção de leite.

A produção de leite bovina em Goiás (Tabela 1), no período de 2008 a 2010, mostra que a produção goiana cresceu 10,3%, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), ocupando o 4º lugar na cadeia nacional.

Tabela 1. "Ranking" dos Estados da Federação na produção de leite e taxa de crescimento da atividade no período de 2008 a 2010

Ranking	Volume da produção (1000 litros)			Taxa de crescimento (2008 a 2010)
	Estado	2008	2009	2010
Minas Gerais	7.657.305	7.931.115	8.231.295	27,0
Rio Grande do Sul	3.314.573	3.400.179	3.668.050	12,0
Paraná	2.827.931	3.339.306	3.644.883	12,0
Goiás	2.873.541	3.003.182	3.139.378	10,3
Santa Catarina	2.125.856	2.237.800	2.441.554	8,0

Fonte: IBGE (2011).

Essa representatividade é tanta que a expansão da indústria em Goiás, no ano de 2010, se deve ao crescimento das indústrias de transformação e das indústrias de alimentos e bebidas apresentando índices de aumento de 26,7% e 15,7% respectivamente (IBGE, 2011).

Como consequência desse crescimento o Estado de Goiás passou de exportador de leite *in natura* para importador, impulsionado pelo aumento

das indústrias de laticínios. A aquisição do leite pela indústria, no primeiro trimestre de 2011 em relação ao mesmo período anterior, teve uma leve queda de 2,4% no leite adquirido e 2,0% no leite industrializado, porém o volume importado é expressivo sendo em torno de 600.000 L (IBGE, 2011).

De acordo com a Secretaria da Fazenda do Estado está havendo um aumento no número de laticínios em Goiás. Atualmente existem 362 laticínios cadastrados, sendo 87 microempresas, 103 pequenas empresas, 54 empresas de médio porte, 46 empresas de grande porte e 72 empresas classificadas como sem porte (GOIÁS, 2010).

Devido ao grande volume de água necessário para o beneficiamento do leite, as indústrias de laticínios são consideradas como uma das principais geradoras de efluentes industriais. Estima-se que para cada litro de leite beneficiado sejam gerados cerca de 2,5 L de efluente (VILLA; SILVA; NOGUEIRA, 2007).

Esse problema se agrava, porque a maioria dos laticínios são de pequeno e médio porte. Essas indústrias, via de regra, não possuem pessoal qualificado em seu quadro de funcionários para lidar com eventuais mudanças à implementação de tecnologias limpas, bem como a operação de sistemas de tratamento de seus efluentes (PRADO; CABANELLAS, 2008).

Esses efluentes apresentam alta carga orgânica como consequência da grande quantidade de lipídios, carboidratos e proteínas, que conferem ao sistema elevada DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). Portanto se lançados em corpos de água, sem o tratamento adequado, podem reduzir a concentração do oxigênio dissolvido e colocar em risco toda a biota aquática (VILLA; SILVA; NOGUEIRA, 2007).



## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Aspectos gerais do leite**

A composição química do leite bovino varia de acordo com a estação do ano e reflete de acordo com Antunes (2003):

Diferenças entre raças, estágios de lactação e o sistema de alimentação. Como valores médios são aceitos 4,0% de gordura, 3,5% de proteína, 4,8% de lactose e 0,7% de sais, sendo água o restante.

Devido ao seu alto valor nutritivo e o seu pH variando entre 6,6 e 6,8 a 20°C o leite é considerado um ótimo meio de cultura para o crescimento de microorganismos, portanto, devem-se assumir todas as medidas cautelares necessárias para que se mantenha as características nutricionais do leite (SILVA, 1997).

Para se obter uma boa higienização é necessário conhecer sobre a estrutura do resíduo lácteo como: “o tipo e a quantidade de sujidade, os equipamentos a serem higienizados, o método de higienização e a qualidade da água utilizada.” (RIBAS, 2008)

Os tratamentos dependem de acordo com o nível de sujeira presente, e podem variar desde a simples dissolução dos compostos em água, como pelo o uso de detergentes alcalinos para a remoção de componentes insolúveis, até ao uso de agentes quelantes para a remoção de cálcio e magnésio (COSTA, 2001).

### **2.2 Microorganismos que alteram a qualidade do leite**

Os microorganismos estão presentes no ambiente natural do homem,

no próprio homem e em todos os seres vivos.

O leite é um alimento quase completo tendo em sua composição proteínas, glicídios, lipídios, sais minerais e vitaminas em concentrações adequadas para o crescimento de microorganismos. Qualquer produto alimentício, industrializado ou não, pode estar contaminado por esses microorganismos que podem gerar consequências que variam desde a simples alteração das propriedades do produto até a produção de infecções graves ao consumidor (BOURGEOIS et al, 1988).

A contaminação dos alimentos está relacionada com a qualidade da água que é utilizada nos processos de produção, com o solo, ar, poeira e pelos próprios produtos alimentícios. Sendo que a contaminação depende do contexto em que os processos industriais se encontram (BOURGEOIS et al, 1988).

Logo é necessário um processo adequado para eliminar essas espécies microbianas patogênicas e toxicogênicas ao homem, assim como a dos microorganismos que alteram as propriedades organolépticas dos alimentos (BOURGEOIS et al, 1988).

As bactérias associadas ao leite são classificadas em dois grupos: os gram-positivos e os gram-negativos. As bactérias gram-positivas mais comuns são os homofermentativos (*Streptococcus* spp e *Pediococcus* spp) e os bacilos esporulados (*Bacillus* spp, *Clostridium* spp). As bactérias do grupo gram-negativas são as oxidases negativas (*Pseudomonas* spp, *Alcaligenes* spp, *Flavobacterium* spp) e a de oxidase negativa fermentadora (enterobactérias) e além dessas existem ainda os fungos e as leveduras (COLLINS; HARTLEIN, 1982).

As bactérias do gênero *Streptococcus* spp e outras como a *Pediococcus* spp; *Aerococcus* spp e *Leuconostoc* spp reagem com a lactose produzindo ácido láctico. O leite se deteriora rapidamente, provocada pela acidez do leite e com isso surgem às doenças infecciosas nos animais e no consumidor (COLLINS; HARTLEIN, 1982). Apesar de a refrigeração adequada suprimir o crescimento dessas bactérias, a maioria das perdas de leite está relacionada com a falta de higiene e temperatura inadequada. (RIBAS, 1998)

Os bacilos esporulados dos gêneros *Bacillus* spp e *Clostridium* spp são bactérias deteriorantes do leite pasteurizado, por serem altamente resistentes aos processos térmicos, no entanto podem ser encontradas no ambiente, na ração e intestino animal (COLLINS; HARTLEIN, 1982).

Entre as bactérias gram-negativas as *Pseudomonas* spp as espécies dos gêneros das *Alcaligenes*, *Flavobacterium* e *Brucella* atuam rapidamente quanto à deterioração do leite pois seu metabolismo degrada as proteínas e gorduras presentes (COLLINS; HARTLEIN, 1982). No entanto essas bactérias podem ser facilmente imunizadas pela pasteurização e a maioria desses organismos não fermenta a lactose, portanto eles não promovem uma acidificação pronunciada (VELOSSO, 2002).

As enterobactérias, conhecidas como coliformes, são bacilos não esporulados, aeróbios ou anaeróbios facultativos, encontrada no intestino do homem e dos animais, como membros da flora normal ou de infecção. Como não são bactérias originárias do leite indicam que a contaminação é externa. Reagem com a lactose produzindo gases e vários ácidos (ácido fórmico e ácido acético) que deterioram o leite (COLLINS; HARTLEIN, 1982).

Logo um número elevado de coliformes fecais no leite cru indica falta de higiene na ordenha, limpeza inadequada de equipamentos de ordenha ou de utensílios que entram em contato com o leite e água contaminada (BRITO et al, 2005).

### 2.2.1 Microorganismos patogênicos

Existem inúmeros agentes patogênicos que causam doenças infecciosas, e podem ser transmitidas para o homem pelo o leite. Entre elas têm-se:

#### *Salmonella* spp

As salmonelas se situam entre os agentes patogênicos mais frequentemente encontrados em surtos de toxinfecção alimentar, sendo

ainda, os produtos de laticínio o mais importante veículo de sua transmissão (ÁVILLA; GALLO, 1996).

Uma amostragem no ambiente e na linha de produção deve ser testada a fim de detectar a presença da *Salmonella* spp a fim de forçar uma melhoria na operação de controle na qualidade (RIBAS, 2008).

### *Escherichia coli* enteropatogênica

*Escherichia coli* enteropatogênica somente é encontrada no homem, raramente são encontradas em animais. A possível contaminação por essa bactéria pode estar relacionada com os solos ou água de baixa qualidade onde os rebanhos bovinos pastam (TRABULZI; ALTHERTUM, 2008). Também pode estar associada à falta de higiene na ordenha do leite, nos equipamentos que são utilizados ou até da falta de boas práticas dos trabalhadores.

Testes de *Escherichia coli* têm sido utilizados pelas indústrias de laticínios como indicadores de contaminação fecal e de práticas ineficientes de higiene. (VELLOSO, 2002).

### *Listeria monocytogenes*

*Listeria monocytogenes* é um importante agente patogênico, visto que sua presença pode causar a listeriose. A listeriose pode causar gastroenterite e nos casos mais agudos, ocasiona meningite, septicemia e meningoencefalite (BORGES et al, 2009).

Nos últimos anos têm sido constatados vários casos de surtos de listeriose relacionados à contaminação de leite e seus derivados, especialmente nos queijos frescos. A contaminação pode ocorrer de acordo com Borges et al (2009), principalmente, no leite cru ou pasteurizado inadequadamente, usado na fabricação ou no ambiente em que se dá o processamento do leite.

### *Campylobacter jejuni* (SANTOS; FONSECA, 2007)

A campilobacteriose é uma importante causa de infecções gástricas crônicas, enterocolite e septicemia no homem. Raros os casos em que causa morte. A infecção é causada pela ingestão de leite contaminado. Apesar de seu crescimento ser pequeno nos alimentos a sua dose infectante é geralmente muito baixo (500 UFC/mL), tornando-a umas das principais causadoras de gastroenterite aguda em humanos.

Sendo o leite cru a principal causa de campilobacteriose, a sua prevenção deve ser feita com uma pasteurização adequada e para que haja controle deve-se continuar com a prevenção.

*Yersinia enterocolitica* (TRABULZI; ALTHERTUM, 2008).

A *Yersinia enterocolitica* pertence à família *Enterobacteriaceae* e tem capacidade de produzir enterotoxinas. É um microorganismo psicotrófico capaz de se reproduzir em uma ampla faixa de temperatura (0 a 44°C).

A principal fonte de contaminação do leite e seus derivados lácteos são após a pasteurização, uma vez que a *Yersinia enterocolitica* não sobrevive nas temperaturas de pasteurização.

*Staphylococcus aureus* (TRABULZI; ALTHERTUM, 2008).

O *Staphylococcus aureus* é uma das bactérias patogênicas mais importantes, pois atua como agente de uma ampla gama de infecções, variando desde as superficiais até as de elevada gravidade. Produz várias toxinas que atuam por meio de diversos mecanismos. Algumas são citoxinas, outras superantígenos e outras degradam as moléculas de adesão das células epiteliais cutâneas.

O leite e seus derivados têm sido identificados como as principais fontes de enterotoxinas estafilocócicas para humanos. *Staphylococcus aureus* é o principal agente causador de mastite em vacas leiteiras em todo o mundo.

Uma forma de controlar a proliferação do *Staphylococcus aureus* é

armazenar o leite e seus derivados em temperaturas menores que 10° C, porém a pasteurização causa a sua total eliminação.

### 2.3 Limpeza e sanitização na indústria de laticínios (GAVA, 1984)

Devido a contaminação do leite ter sua origem na presença de microorganismos patogênicos ou não é que os processos de limpeza e a sanitização na indústria de laticínios se tornam operações importantes no controle sanitário dos alimentos. Logo as práticas sanitárias visam evitar a contaminação e a alteração dos alimentos, desde a seleção da matéria-prima, no que se refere ao seu transporte e armazenamento, ao seu processamento, as instalações físicas e equipamentos, o emprego de pessoal em condições de higiene satisfatórias e a embalagem e armazenamento do produto final.

A limpeza e a sanitização estão baseadas em quatro operações básicas: pré-lavagem, limpeza com detergentes, nova lavagem e sanitização.

#### 2.3.1 Pré-lavagem (GAVA, 1984)

É a limpeza inicial que visa à remoção da sujidade macroscópica e grosseira, utilizando-se água aquecida (38 a 46°C). Essa operação é de grande importância, pois age no sentido de reduzir a quantidade de resíduos aderentes aos equipamentos. Se efetuada de forma correta pode remover até 90% do resíduo solúvel presente

A água utilizada para a limpeza deve ser de boa qualidade apresentando dureza, teor de metais, coliformes, odor e sabor a níveis desejáveis. É recomendável que a indústria possua a sua própria estação de tratamento de água

#### 2.3.2 Limpeza com detergentes

A limpeza com detergentes é uma das operações mais importantes, pois exige um conhecimento aprimorado das características dos detergentes

e de suas condições de emprego (GAVA, 1984).

De acordo com Leitão (1975) um detergente deve apresentar as seguintes características: solubilidade rápida e completa; não ser corrosivo; remover a dureza da água; boa capacidade de penetração; ação dispersante e desfloculante; ação enxaguante; estável durante o armazenamento e biodegradável.

Para se ter uma limpeza adequada é necessário conhecer a natureza do resíduo a ser removido. Os resíduos normalmente encontrados nas superfícies dos equipamentos são os carboidratos, lipídeos, proteínas e minerais (GAVA, 1984). Algumas características dos resíduos são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Características dos resíduos encontrados nos equipamentos.

<b>Componente</b>	<b>Solubilidade</b>	<b>Facilidade na remoção</b>
Carboidratos	Solúveis em água	Fácil
Lipídeos	Insolúveis na água Solúveis em álcalis	Difícil
Proteínas	Insolúveis na água Solúveis na água	Muito difícil
Sais minerais: Monovalentes	Solúveis em ácido	Fácil ou difícil
Polivalente	Insolúveis na água Solúveis em ácido	Fácil ou difícil

Fonte:(GAVA, 1984)

Os detergentes são formulados para remover esses resíduos, portanto devem atender a essas características citadas na Tabela 2. Os principais tipos de detergentes utilizados nas operações de limpeza industrial são os alcalinos básicos, os ácidos, os agentes tensoativos surfactantes, os fosfatos complexos e os agentes quelantes.

### 2.3.2.1 Detergentes alcalinos

Suas funções principais são o deslocamento de resíduos por emulsificação, saponificação e peptização (LEITÃO, 1975). Parte de sua alcalinidade é consumida na saponificação e outra parte pode reagir com

ácidos presentes nos resíduos (GAVA, 1984). Os principais detergentes alcalinos são:

#### Hidróxido de sódio

O hidróxido de sódio, ou soda cáustica, apresenta um pH 13 quando em solução a 1%. É um ótimo agente de limpeza pois remove gorduras e proteínas e possui propriedades germicidas. Normalmente essa solução é aplicada quando o processo de higienização é automático, não havendo contato direto dos manipuladores por questões de segurança (RIBAS, 2008; GAVA, 1984).

#### Metassilicato de sódio

Apresenta bom poder saponificante, boa ação de enxaguagem e baixa ação contra a dureza. Tem uma ótima propriedade de proteger o equipamento contra a corrosão (ANDRADE; MACEDO, 1996).

#### 2.3.2.2 Detergentes ácidos (GAVA, 1984)

São utilizados quando ocorrem incrustações de água dura e depósitos calcários ocasionados por álcalis, etc., pois estes não são removidos por detergente alcalinos, necessitando de detergentes ácidos ou agentes quelantes.

Devem ser utilizados ácidos fracos, pois a ação dos detergentes ácidos é ocasionada pelos íons  $H^+$ , e se depositados em concentrações altas podem ocasionar a corrosão do equipamento. Por essa razão são utilizados ácidos fracos como o cítrico, levulínico, sulfâmico e etc.

#### 2.3.2.3 Detergentes tensoativos (GAVA, 1984)

São substâncias capazes de modificar a tensão superficial em interfaces líquido-líquido, líquido-gás e sólido-líquido. Apresentam em suas



estruturas grupos polares e apolares que lhe conferem as suas propriedades. São classificados em aniônicos, catiônicos e não-iônicos.

#### Detergentes tensoativos aniônicos

Eles se dissociam em solução e a sua forma ativa corresponde aos íons negativos, destacando-se os sabões, alcoóis e hidrocarbonetos sulfonados e sulfonatos de alquila e arila.

#### Detergentes tensoativos catiônicos

Dissociam-se em solução liberando um íon positivo ativo. São mais eficazes como germicidas. Os compostos de amônio quaternário são seus principais representantes, pois o nitrogênio liberado é altamente eletrofilico (GAVA, 1984).

#### 2.3.2.4 Agentes sequestrantes e quelantes (GAVA, 1984)

##### Polifosfatos

Formam complexos solúveis com o cálcio e magnésio evitando a precipitação de sais que podem interferir nas operações de limpeza. É totalmente reversível a sua ação sequestrante. São exemplos o polifosfato tetrasódico, o hexametáfosfato de sódio e o tetrafosfato de sódio.

##### Agentes quelantes

Possui efeito similar aos grupos dos polifosfatos e seu principal representante é o ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) na forma de seus sais de sódio e fosfato, são capazes de remover os íons cálcio, magnésio e ferro.

### 2.3.3 Nova lavagem ou enxágue

É feita com o objetivo de eliminar os resíduos provenientes da limpeza com os detergentes, pode ser realizada com água fria ou quente. Quando possível o enxágue deve ser feito com água quente (70°C), pois favorece a eliminação de microorganismos e favorece a evaporação da água nas superfícies limpas (RIBAS, 1998).

### 2.3.4 Sanitização (GAVA, 1984)

A sanitização é o conjunto de procedimentos usados na indústria de produtos alimentares e que visam à manutenção das condições de higiene indispensáveis à obtenção de materiais de primeira qualidade.

Esta é considerada a última etapa do processo de limpeza e tem por objetivo eliminar os microorganismos presentes nos equipamentos que não foram removidos durante os tratamentos anteriores. Pode ser realizada por meios físicos ou por meios químicos.

#### Sanitização por meios físicos

1. O meio usado como sanitizante é o calor, tendo as possibilidades de uso o vapor, a água quente e o ar quente;
2. O outro meio é o uso da radiação ultravioleta como germicida sendo empregado em um comprimento de onda na faixa de 240 – 280 nanômetros.

#### Sanitização por meios químicos

São comumente usados pela indústria principalmente devido ao baixo custo, se destacam o uso de compostos clorados, iodados e quaternários de amônio.

1. Compostos clorados: O cloro é o sanitizante mais usado por causa de sua atividade germicida e combinação com radicais

oxidáveis como –SH das enzimas. Os principais compostos de cloro empregados como sanitizantes são: hipoclorito de sódio e ácido peracético.

2. Compostos iodados: São bastante germicidas e a sua atividade é função do iodo molecular, que se combina com as células microbianas. Porém possui algumas desvantagens como baixa solubilidade em água e toxicidade.
3. Compostos Quaternários de Amônio: possuem boa atividade germicida e atua inativando a membrana celular dos microorganismos.

## 2.4 Natureza dos efluentes líquidos (MAGANHA, 2006)

A água é o recurso mais utilizado pelo setor de laticínios, pois seu consumo está associado diretamente às operações de limpeza, lavagem de massa láctea, resfriamento e geração de vapor. A quantidade de efluente produzido é grande e a descarga desses efluentes têm sido uma das causas principais dos impactos ambientais relativos ao setor.

De acordo com o que foi mostrado anteriormente os pontos principais de geração dos efluentes industriais são:

- Lavagem e limpeza dos produtos remanescentes dos caminhões, tanques, latões, máquinas e equipamentos diretamente envolvidos na produção;
- Descarte do soro ou do leite ácido.
- Leite e matérias-primas não aproveitadas durante o processo industrial, gordura, sólidos de leite, restos ou pedaços de produtos finais;
- Detergentes e desinfetantes usados nas operações de lavagem de pisos e tubulações e lavagens gerais;
- Óleos e lubrificantes usados na manutenção dos equipamentos;
- Esgoto sanitário;

### 2.4.1 Características físico-químicas dos efluentes líquidos

Os efluentes líquidos das indústrias de laticínios possuem uma natureza similar entre si, pois refletem diretamente o efeito das perdas do leite e de seus derivados. A sua composição é influenciada pelos processos industriais utilizados; volume do leite processado; equipamentos utilizados; quantidade de água utilizada nas operações de limpeza e em outros processos industriais (MACHADO et al, 2002).

A Tabela 3 apresenta valores médios das principais características físico-químicas dos efluentes industriais dos laticínios (MAGANHA, 2006).

Tabela 3. Caracterização dos efluentes não tratados das indústrias de laticínios.

Parâmetro	Faixa de variação	
	(1)	(2)
Sólidos suspensos	24 – 5700 mg.L <sup>-1</sup>	100 – 1000 mg.L <sup>-1</sup>
Sólidos suspensos totais	125 – 8500 mg.L <sup>-1</sup>	100 – 2000 mg.L <sup>-1</sup>
DQO	500 – 4500 mg.L <sup>-1</sup>	6000 mg.L <sup>-1</sup>
DBO <sub>5,20</sub>	450 – 4790 mg.L <sup>-1</sup>	4000 mg.L <sup>-1</sup>
Proteína	210 – 560 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Gordura/Óleos e graxas	35 – 500 mg.L <sup>-1</sup>	95 – 550 mg.L <sup>-1</sup>
Carboidratos	252 – 931 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Amônia – N	10 – 100 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Nitrogênio	15 – 180 mg.L <sup>-1</sup>	116 mg.L <sup>-1</sup>
Fósforo	20 – 250 mg.L <sup>-1</sup>	0,1 – 46 mg.L <sup>-1</sup>
Sódio	60 – 807 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Cloretos	48 – 469 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Cálcio	57 – 112 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Magnésio	22 – 49 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Potássio	11 – 160 mg.L <sup>-1</sup>	ND
Ph	5,3 – 9,4	1 – 12
Temperatura	12 – 40 °C	20 – 30 °C

Fontes:

(1)Environment Agency of England and Wales, 2000

European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control Jan/2006

(2) ABIQ citados pelo CETESB (2008)

Como as indústrias de laticínios possuem um efluente com alto teor de matéria orgânica utiliza-se a DBO<sub>5,20</sub> como principal parâmetro utilizado para se avaliar o potencial tóxico de efluentes líquidos industriais no que se refere à matéria orgânica biodegradável.

Na Tabela 4 apresentam-se valores da relação da  $DBO_{5,20}/DQO$  para alguns produtos lácteos e para alguns efluentes líquidos de indústrias de laticínios.

Tabela 4. Valores da relações  $DBO_5/DQO$  para alguns produtos comerciais

<b>Produto/Efluente líquido</b>	<b><math>DBO_5/DQO</math></b>
<b>Produtos:</b>	
Leite integral	0,69
Leite desnatado	0,63
Leitelho	0,66
Soro	0,52
Caseína	0,46
Lactose	0,53
Proteína do soro	0,23
Gordura do leite	0,79
<b>Efluentes líquidos de indústria de:</b>	
Manteiga e pó de manteiga	0,52 – 1,13
Caseína láctea	0,53 – 1,13
Queijo Cheddar	0,33 – 0,58

Fonte: EPA (1991); Marshall e Harper (1984) citado em Gomes (2006)

Atenção deve ser dada ao uso dos ácidos e detergentes aplicados nas indústrias de laticínios, pois possuem valores de  $DBO_5$  de 0,25 a 0,85 kg por quilo de produto utilizado. Portanto, dependendo das quantidades aplicadas esses sanitizantes podem contribuir para o aumento dos teores de  $DBO_{5,20}$  e DQO (GOMES, 2006).

## 2.5 Tratamento dos efluentes líquidos das indústrias de laticínios

### 2.5.1 Considerações gerais

O segmento industrial gera milhões de toneladas de rejeitos líquidos a cada ano. Esses despejos são provenientes de perdas inerentes ao processo das matérias-primas, da geração de produtos indesejáveis, de ações de manutenção e incidentes (REBOUÇAS et al, 1999).

As técnicas de controle da poluição visam minimizar os efeitos adversos desses despejos antes de serem dispostos no meio ambiente. Logo as ações de controle são classificadas em métodos físicos, métodos físico-químicos e métodos biológicos (REBOUÇAS et al, 1999).

As ações de prevenção são válidas para o manejo dos efluentes

industriais apoiando-se na minimização da geração e reaproveitamento dos efluentes em processos secundários da indústria (REBOUÇAS et al, 1999).

Portanto toda a indústria deve possuir, nas suas instalações, um sistema de tratamento de seus dejetos líquidos e sólidos. Mas essa não é uma tarefa simples, pois se tratando de efluentes industriais, existem muitas variáveis que dificultam a padronização do processo (DEZOTTI, 2008).

As estações de tratamento das águas residuárias são frequentemente designadas de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), e consistem em locais destinados ao tratamento de resíduos domésticos e industriais, que são posteriormente lançados para um corpo receptor (mar ou rio) em níveis aceitáveis de poluição definidos por um órgão ambiental (DEZOTTI, 2008).

Os descartes dos efluentes industriais em rios ou solos são definidos por órgãos federais e estaduais. Dentre eles se destacam o CONAMA e a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Goiás (SEMARH).

O artigo 24 da resolução CONAMA nº 357/2005 dispõe que:

Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis (BRASIL, 2005).

São necessários vários processos de tratamento dos efluentes para atingirem os níveis especificados pela legislação ambiental, Tabela 5.

Tabela 5. Níveis de tratamento dos efluentes.

<b>Nível</b>	<b>Remoção</b>	
Preliminar	Sólidos grosseiros em suspensão (Ex.: areia e pedaços de galhos)	
Primário	Sólidos totais em suspensão e sólidos totais sedimentáveis; DBO em suspensão.	
Secundário	DBO em suspensão (matéria orgânica não removida no tratamento primário); DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos).	
Terciário	Fósforo e Nitrogênio; Patogênicos; Compostos não biodegradáveis	Metais potencialmente tóxicos; Sólidos inorgânicos; Sólidos em suspensão.

Fonte: Von Sperling (1995) citado em Dezotti (2008).

Esses processos são chamados de preliminar, primário, secundário e terciário, cada um é estabelecido de acordo com a natureza do efluente a ser tratado, Tabela 5 (DEZOTTI, 2008).

### 2.5.2 Tratamento preliminar (DEZOTTI, 2008)

Normalmente se encontram nas ETEs os seguintes sistemas: gradeamento/peneiramento e caixas de areia ou desarenadores.

O sistema de gradeamento/peneiramento consiste na remoção de sólidos grosseiros que possuem dimensões maiores que os espaçamentos das barras. As barras são constituídas de ferro ou aço paralelas, posicionadas transversalmente no canal de chegada do efluente, perpendiculares ou inclinadas, de acordo com o objetivo de remoção dos sólidos.

O material retido nas grades consiste basicamente em pedras, galhos, refugos de madeiras, papéis, raízes de plantas, plásticos e farrapos.

Já o sistema de caixas de areia ou desarenadores são destinados a reter areia e outros detritos que se encontram nos efluentes em função das lavagens, enxurradas e infiltrações. Os detritos encontrados são terra, partículas de metal, carvão e cascalho entre outros. Tem o intuito de proteger os equipamentos e canalizações, pois evita a obstrução dos mesmos facilitando o transporte líquido de efluente no sistema da ETE.

### 2.5.3 Tratamento primário

O objetivo do tratamento primário é a remoção dos sólidos em suspensão e dos sólidos sedimentáveis (GOMES, 2006). Nesse processo utiliza-se o sistema de caixa de gordura, o processo de sedimentação, de equalização, de neutralização e o de coagulação/floculação.

#### Caixas de gordura

Consistem em tanques de retenção de materiais flutuantes,

destinados a remover gorduras, óleos e graxas e substâncias que possuem menor densidade do que água (DEZZOTI, 2008). Devido à densidade e sua imiscibilidade em água ele pode ser removido facilmente na superfície do efluente.

#### Sedimentação (DEZOTTI, 2008).

É uma operação convencional para a separação sólido-líquido baseado também na diferença de densidade entre as fases. Esse sistema é utilizado para a remoção dos sólidos que não foram removidos nas grades e peneiras no tratamento preliminar.

O processo de sedimentação ocorre nos decantadores que podem ser circulares ou retangulares com ou sem mecanização. O princípio de funcionamento é simples, o efluente escoar com velocidade baixa, e sai pela extremidade oposta. Os sólidos são raspados por uma régua fixa sendo depositados em um poço.

#### Equalização

Esse sistema visa minimizar as variações nas características do efluente, mantendo a sua concentração e fluxo. É um processo de mistura que pode ser auxiliado por ar comprimido. Esse processo garante que o efluente mantenha suas características físicas e químicas evitando picos de concentrações de compostos tóxicos garantindo uma quantidade de poluente bem distribuída, auxiliando e criando melhores condições para os tratamentos seguintes (DEZOTTI, 2008).

#### Neutralização (DEZOTTI, 2008).

O método de correção de pH consiste de dois procedimentos: a equalização que é a mistura de despejos ácidos e bases de forma que o pH final seja o mais próximo do pH desejado e na correção direta do pH que



consiste na adição de ácidos e bases a fim de corrigir o pH até o valor desejado.

Essa neutralização se faz necessário nas etapas anteriores aos processos de tratamento químico ou biológico do efluente, pois garante aos microorganismos um meio adequado para a sua atividade biológica.

O processo de adição de ácido e bases diretamente ao efluente é o processo mais simples, porém apresenta inúmeras desvantagens operacionais como à corrosão, dosagem excessiva e riscos a saúde dos operadores. Um processo alternativo e bastante eficaz se faz com a aplicação de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), pois este não apresenta os problemas já citados. É um processo automatizado com significativas vantagens para a neutralização de efluentes.

#### Coagulação/Floculação (DEZOTTI, 2008)

A etapa de coagulação tem o objetivo de aglomerar as impurezas que se encontram no estado coloidal ou, às vezes, dissolvidas, em partículas maiores que possam ser removidas. Essa remoção se dá por processos simples como a decantação ou a filtração, Tabela 6.

Tabela 6. Espécies químicas empregadas no processo de coagulação/floculação.

<b>Espécies</b>	<b>Funções</b>	<b>Compostos Químicos</b>
Coagulantes	Envolvem e adsorvem impurezas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sais de alumínio: sulfato de alumínio, alúmem de amônio e alúmem de sódio.</li> <li>• Sais de Ferro: Sulfato ferroso e Cloreto férrico.</li> </ul>
Alcalinizantes	Conferem alcalinidade necessária para a coagulação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cal viva ou a cal hidratada;</li> <li>• Hidróxido de sódio;</li> <li>• Carbonato de sódio.</li> </ul>
Coadjuvantes	São agentes de coagulação e aceleradores de floculação.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Argila;</li> <li>• Sílica ativada;</li> <li>• Polieletrólitos;</li> <li>• Agentes oxidantes.</li> </ul>

Fonte: Dezzoti (2008)

Após a etapa da coagulação ocorre à floculação, os colóides

descarregados se aglomeram formando flocos que se sedimentam a uma velocidade adequada. Esse processo é favorecido pela agitação, pois facilita o contato dos coágulos uns com os outros.

#### 2.5.4 Tratamento secundário

No tratamento secundário predominam os mecanismos biológicos que se destinam a degradação de compostos carbônicos biodegradáveis que estejam particulados ou dissolvidos. Sendo também, capazes de capturar e incorporar sólidos coloidais bem como remover nutrientes como o fósforo e o nitrogênio (DEZOTTI, 2008).

Dividem-se em dois processos sendo os aeróbios e os anaeróbios ambos tem o objetivo de reduzir a concentração de compostos orgânicos e inorgânicos.

##### Processos aeróbios

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado em situações em que se deseja uma elevada qualidade do efluente e a área disponível é limitada. Utilizam-se principalmente microorganismos aeróbios para oxidar a matéria orgânica presente no efluente.

Na Tabela 7 estão descritas, de forma geral, as vantagens e desvantagens do sistema de lodos ativados.

Tabela 7. Vantagens e desvantagens do uso do sistema de lodos ativados

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada Eficiência</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento de capital elevado</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrificação usualmente obtida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo elevado de energia</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixos requisitos de área</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supervisão contínua</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de remoção de N e P</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Necessidade do tratamento do lodo e sua disposição</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boa resistência a cargas de choque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada mecanização</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Flexibilidade operacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de resíduos tóxicos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa possibilidade de maus odores, insetos e vermes</li> </ul>	

Fonte: adaptado de Von Sperling (2005).

## Processos anaeróbios (CAMPOS, 1999)

Os reatores anaeróbios disponíveis tecnologicamente no Brasil são o: decanto-digestor, o filtro anaeróbio, o reator de manta de lodo, o reator de leite expandido ou fluidificado e a lagoa anaeróbia.

São reatores biológicos nos quais o esgoto é tratado na ausência de oxigênio livre, onde ocorre a formação de biomassa anaeróbia, tendo como subproduto principal da degradação da matéria orgânica, o biogás. Podem remover até 80% da matéria orgânica, porém não removem satisfatoriamente microorganismos patogênicos nem nutrientes eutrofizantes.

Alguns fatores podem influenciar a eficiência da digestão anaeróbia de água residuárias como: a temperatura, pH, alcalinidade, presença de nutrientes, cargas tóxicas, transferência de massa, sobrecargas hidráulicas e atividade metagênica.

Dentre as tecnologias disponíveis o reator de manta de lodo conhecido como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) tem sido, nos últimos anos, o mais utilizado pelas indústrias no Brasil, sendo encontrado praticamente em todos os Estados.

A seleção de um reator também depende de certos fatores práticos como: Disponibilidade de área, variação das vazões, operação e manutenção, custos, consumo de energia, uso de equipamentos, Mão de obra disponível e Impactos ambientais, Tabela 8.

Tabela 8. Vantagens e desvantagens dos reatores UASB.

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema compacto, com baixa demanda de área</li> <li>• Baixo custo de implantação e operação</li> <li>• Baixa produção de lodo</li> <li>• Baixo consumo de energia</li> <li>• Satisfatória eficiência na remoção DBO/DQO, da ordem de 65-75%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possibilidade de emissão de maus odores</li> <li>• Baixa capacidade do sistema de tolerar cargas tóxicas</li> <li>• Elevado intervalo de tempo para a partida do sistema</li> <li>• Necessidade de uma etapa pós-tratamento.</li> </ul>

Fonte: O<sub>2</sub> Engenharia.

### 2.5.5 Tratamento terciário

Esse tratamento é necessário quando se busca o reuso do efluente ou quando a carga poluente do efluente, resultante do tratamento secundário é alta, não podendo ser disposta em um corpo receptor. Essa prática aumenta a disponibilidade de água para o suprimento doméstico e industrial.

Pode ser empregado na remoção de: sólidos em suspensão, carga orgânica residual, micropoluentes, cor, sais minerais, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e metais tóxicos, Tabela 9.

Tabela 9. Tratamento terciário, tipo de remoção e suas aplicações.

<b>Tipo de remoção</b>	<b>Operação ou processo</b>	<b>Aplicação</b>
Sólidos suspensos	Filtração	EST
	Peneiramento	
Oxidação de amônia	Nitrificação biológica	EST
Nitrogênio	Nitrificação/desnitrificação biológica	EST
Nitrato	Desnitrificação em estado separado	EST + nitrificação
Fósforo	Remoção de fósforo na corrente principal <sup>a</sup>	RW, EPT
Nitrogênio e fósforo por métodos biológicos	Nitrificação/desnitrificação biológica e remoção de fósforo	RAS
Nitrogênio e fósforo por métodos físicos e químicos	Arraste com ar	EST
	Cloração no ponto de ruptura	EST+filtração
	Troca iônica	EST+filtração
Compostos tóxicos e matéria orgânica refratária	Adsorção em carvão ativado	EST+filtração
	Lodo ativado com carvão ativado granular	EPT
	Oxidação química	EST+filtração
Sólidos inorgânicos dissolvidos	Precipitação química	RW, EST, EBT, EST
	Troca iônica	EST+filtração
	Ultrafiltração	EST+filtração
	Osiose reversa	EST+filtração
	Eletrodialise	EST+filtração+carvão ativado
Compostos orgânicos voláteis	Volatilização e arraste com gás	RW, EPT

Fonte: METCALF & EDDY, 2003. Citado em FILHO (2009).

<sup>a</sup>EPT = efluente do tratamento primário.

EBT = efluente do tratamento biológico (antes da clarificação).

EST = efluente do tratamento biológico (após a clarificação). ; RW = efluente bruto.

Apesar de sua importância, o tratamento a nível terciário é raramente utilizado pelas indústrias de laticínios por ser um tratamento dispendioso. Geralmente os sistemas de tratamento seguem as seguintes sequências básicas: tratamento preliminar, primário e secundário.

Sendo assim a Figura 1 apresenta um fluxograma geral de um sistema típico de uma ETE para a indústria de laticínios.

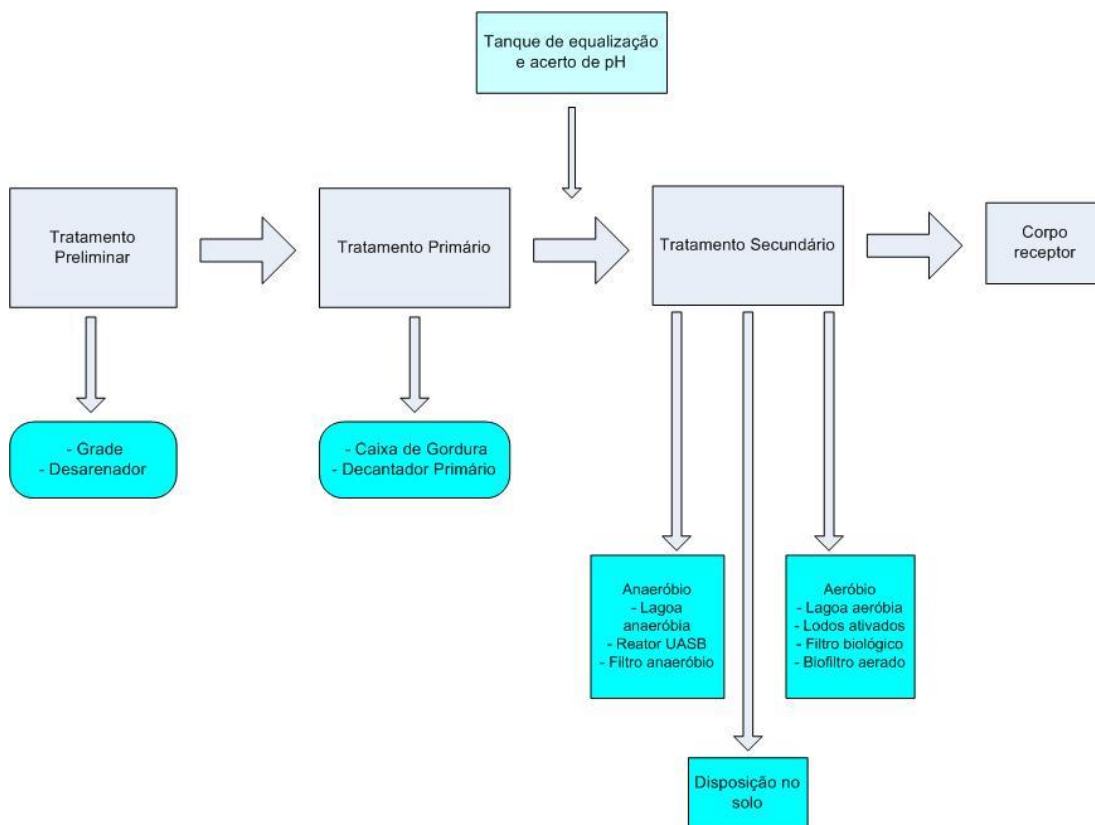


Figura 1. Fluxograma de um sistema de tratamento de efluentes.

Devido à crescente urbanização e desenvolvimento de novas tecnologias industriais, os corpos hídricos têm se tornado, cada vez mais, receptáculos da maioria dos poluentes lançados no ar e na água.

A contaminação química tem merecido especial atenção, pois as substâncias químicas sintetizadas vêm aumentando exponencialmente nos últimos anos. Estima-se que existem sete milhões de substâncias químicas e que dessas, 100 mil são usados diariamente pelo homem. Devido ao desenvolvimento científico cerca de mil novos compostos são introduzidos no mercado a cada ano. Desse total aproximadamente 79% não possuem

informações relativas aos seus efeitos tóxicos adversos (DEZOTTI, 2008).

Os ecossistemas aquáticos que recebem essa alta carga de compostos químicos sejam diretamente pelo despejo dos resíduos industriais ou domésticos, seja pelo carreamento indireto das águas pluviais, fazem com que o equilíbrio desses ecossistemas sejam alterados de forma significativa.

## 2.6 Ecotoxicologia

Além das análises físico-químicas, os testes de toxicidade com organismos aquáticos vivos são capazes de fornecer dados quantitativos e qualitativos dos efeitos adversos dessas substâncias. Essas análises fornecem os subsídios necessários para que os institutos ambientais, indústrias ou outros que estejam ligados diretamente a preservação dos recursos hídricos e do meio ambiente, tomem decisões fundamentadas e objetivas quanto ao uso e preservação desses recursos naturais (DEZOTTI, 2008).

Portanto a toxicologia ambiental estuda os efeitos adversos das substâncias químicas sobre os seres vivos. É uma ferramenta importante, mas não tão significativa, pois não considera os efeitos das variações naturais que ocorrem nos ecossistemas, como a introdução de novas espécies e o habitat (BAIRD, 2002).

A ecotoxicologia compreende um ramo da toxicologia ambiental que investiga os efeitos das substâncias químicas sobre os ecossistemas, considerando as relações dos poluentes não só com os organismos vivos mas também as suas interações com o meio ambiente (CHAPMAN, 2002).

A análise ecotoxicológica possui a finalidade de medir, em qual grandeza, o efeito nocivo das substâncias químicas isoladas ou em forma de misturas, e como e onde se manifestam (KNIE, 2004).

Desta forma a Ecotoxicologia ganha destaque entre as Ciências do Ambiente, gerando conhecimento básico e essencial para a tomada de decisões, para a formulação de dispositivos legais, programas e diretrizes com o intuito de enfrentar os problemas de risco ecotoxicológico, potencial

ou real, quanto à disposição de agentes químicos no meio ambiente (AZEVEDO; CHASIN, 2003).

Os testes de toxicidade com organismos vivos, desenvolvidos na Ecotoxicologia, servem para detectar os impactos causados nos organismos aquáticos e têm sido utilizados, em vários países, para complementar as análises físico-químicas que, por si só, não retratam o impacto realmente causado no ecossistema (MAGALHÃES; FERRÃO FILHO, 2008).

A escolha de organismos vivos deve ser feita através de alguns critérios como fácil manuseio e disponibilidade, ampla disseminação e sua importância na cadeia alimentar. Dentre os principais organismos testes utilizados podemos citar os peixes *Danio rerio*, *Pimephales promelas*; os microcrustáceos *Daphnia magna* e *Ceriodaphnia dubia* entre inúmeros outros (KNIE, 2004).

Para qualificar e quantificar os efeitos nocivos das substâncias tóxicas necessita-se escolher quais procedimentos são mais adequados para um sistema de teste. Os testes mais aplicados são os agudos e os crônicos. A toxicidade aguda detecta os efeitos imediatos causados pela amostra, simples ou composta, em um curto período de exposição sobre o ciclo de vida do organismo. Já a toxicidade crônica observa o efeito deletério causado pela amostra, simples ou composta, que afeta uma ou mais funções dos organismos teste (comportamento, reprodução ou crescimento), em um longo período de tempo ou nas fases iniciais de seu desenvolvimento (KNIE, 2004; CONSEMA, 2006).

O efeito-resposta buscado em testes com animais, em sua maioria, é a morte. O valor buscado é expresso em  $CL_{50}$  (Concentração Letal) que corresponde à dose letal a 50% dos organismos teste (KNIE, 2004).

Para determinar as relações de concentração/efeito, o ideal é que sejam testadas no mínimo cinco concentrações da amostra, das quais pelo menos duas produzam menos e duas produzam mais de 50% do efeito esperado (KNIE, 2004).

A  $CL_{50}$  ou a  $CE_{50}$  (Concentração efetiva), sendo esta última a concentração da amostra na qual um quantum de ação foi observado. E podem ser calculadas através de alguns métodos estatísticos como o

método de Próbitas, Trimmed Spearman-Kärber ou por interpolação gráfica (KNIE, 2004).



### **3. OBJETIVO GERAL**

Avaliar os parâmetros físico-químicos e ecotoxicológicos dos efluentes provenientes de indústrias de laticínios para caracterizar os possíveis impactos de sua natureza.

#### **3.1 Objetivos Específicos**

- Identificar os processos geradores dos efluentes na indústria;
- Identificar as características do efluente a ser tratado bem como do efluente tratado;
- Estudar a remoção dos contaminantes presentes no efluente em diversos pontos da Estação de Tratamento de Efluentes;
- Identificar a toxicidade do efluente, bem como a sua remoção ao longo do processo de tratamento realizado na ETE;
- Confirmar se houve diferença na toxicidade do efluente tratado em relação ao efluente bruto;
- Caracterizar o perfil térmico do efluente de laticínios através da termogravimetria;
- Pesquisar a legislação referente ao lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água no estado de Goiás;

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Caracterização do objeto de estudo

A pesquisa foi desenvolvida com a utilização do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) de uma indústria de laticínios no Município de Adelândia, Estado de Goiás. A caracterização e o tratamento físico-químico dessa ETE são ilustrados na Figura 2.

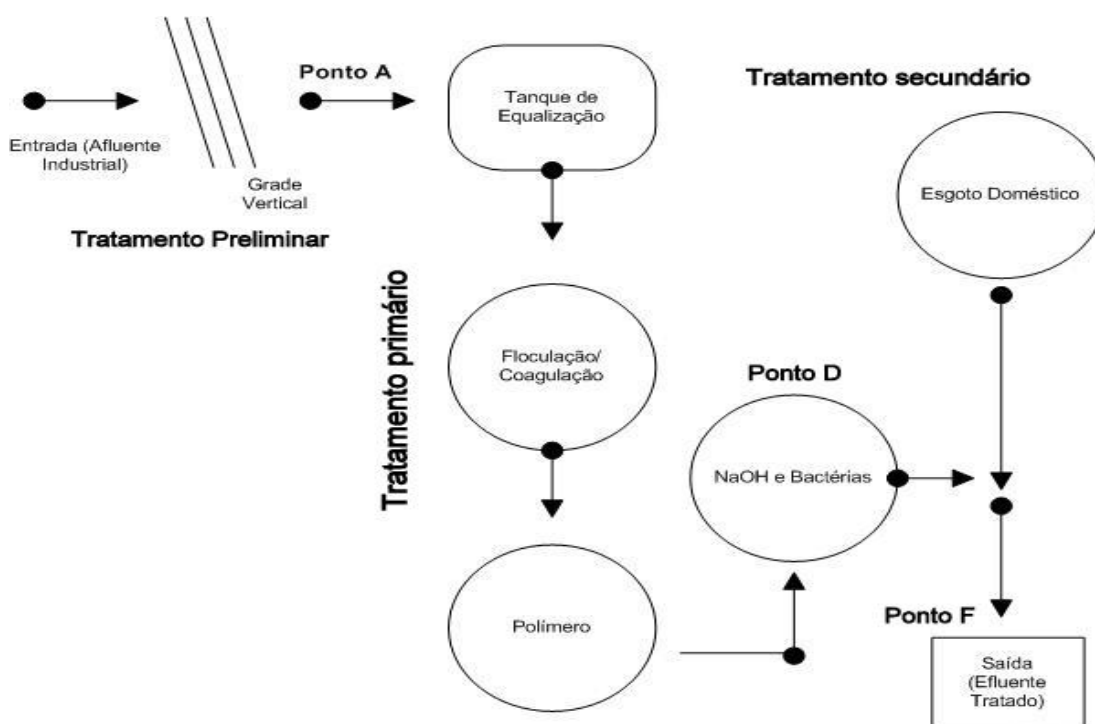


Figura 2. Sistema de tratamento físico-químico do efluente da ETE analisada.

A estrutura física da ETE analisada é caracterizada por um sistema de grade, um tanque de equalização, três tanques para tratamento físico-químico e um tanque para tratamento biológico como mostrada na Figura 3.



Figura 3. Visão geral da Estação de Tratamento de Efluente. A – peneiras; B – Tanques de tratamento físico-químico e biológico; C – Entrada do efluente no tanque de equalização

#### 4.2 Coleta das amostras

Foram realizadas seis coletas em três pontos distintos na ETE da indústria analisada entre os meses de abril de 2010 a abril de 2011. Os efluentes foram coletados em garrafas de plástico de 5L completamente preenchidas com efluente de modo a minimizar a presença de ar e foram transportadas imediatamente para o Laboratório de Ecotoxicologia da Universidade Federal de Goiás, em caixas térmicas contendo gelo.

Selecionou-se três pontos de coleta na ETE, sendo para cada ponto atribuídas as letras A (efluente bruto), D (efluente tratado) e F (efluente tratado + esgoto doméstico).

As amostras foram então armazenadas em geladeira e mantidas em temperatura inferior a 10°C sem congelamento e ao abrigo da luz como previsto na NBR 15088 (ABNT, 2004).

Foram coletadas amostras adicionais para as análises físico-químicas, as quais foram condicionadas e armazenadas nas condições descritas na Tabela 10.

Tabela 10. Condições de armazenamento das amostras coletas.

Parâmetro	Frasco	Qtidade (mL)	Preservação	Duração Max.
DBO	p, v	1000	Refrigerar	6h
DQO	p, v	100	O mais breve possível ou adiciona-se H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH<2 e refrigerar	7d
Óleos e graxas	V	1000	Adicionar HCl ou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH < 2 e refrigerar	28d
Condutividade	p, v	500	Refrigerar	28d
Dureza	p, v	100	Adicionar HNO <sub>3</sub> ou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> até pH <2	6m
Metais (em geral)	p, v	1000	Para metais dissolvidos, filtrar e adicionar HNO <sub>3</sub> até pH <2	6m
O.D	p, v	300	Análise imediata	-
pH	p, v	50	Análise imediata	2h
Salinidade	V	240	Análise imediata	6m
Sólidos	p, v	200	Refrigerar	7d
Temperatura	p, v	-	Análise imediata	-
Turbidez	p, v	100	Armazenar no escuro 24hrs; refrigerar.	24h

\* p = plástico; v = vidro. Fonte: APHA (1992).

#### 4.3 Parâmetros físico-químicos

Foram analisados os parâmetros pH, OD (mg.L<sup>-1</sup>), dureza (mg.L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>), TDS (mg.L<sup>-1</sup>), sal (mg.L<sup>-1</sup>), condutividade (μS.cm<sup>-1</sup>), DQO (mg.L<sup>-1</sup>), DBO<sub>5,20</sub> (mg.L<sup>-1</sup>), óleos e graxas (mg.L<sup>-1</sup>), sólidos totais (mg.L<sup>-1</sup>), temperatura (°C) e turbidez (NTU).

O pH, OD e temperatura foram verificados *in loco*, através de pHmetro digital (marca Ingold pH -206), oxímetro digital (modelo handylab OX1, marca SCHOTT) e termômetro de filamento de mercúrio, respectivamente.

Os demais parâmetros foram analisados no Laboratório de Ecotoxicologia e seguiram as metodologias descritas na Tabela 11.

Tabela 11. Métodos utilizados na determinação dos parâmetros físico-químicos.

Parâmetro	Unidade	Método
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg.L <sup>-1</sup>	Método DBO 5 dias*
<b>DQO</b>	mg.L <sup>-1</sup>	Método titulométrico de refluxo aberto*
<b>Dureza</b>	mg.L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	Método titulométrico com EDTA*
<b>Turbidez</b>	NTU	Método turbidimétrico – Modelo 966 Osberco - Hellige
<b>TDS</b>	mg.L <sup>-1</sup>	Método eletrométrico - Condutivímetro SCHOTT
<b>Salinidade</b>	mg.L <sup>-1</sup>	Método eletrométrico - Condutivímetro SCHOTT
<b>Condutividade</b>	μm.cm <sup>-1</sup>	Método eletrométrico - Condutivímetro SCHOTT
<b>Óleos e graxas</b>	mg.L <sup>-1</sup>	Método de Extração Soxhlet*
<b>Sólidos totais</b>	mg.L <sup>-1</sup>	Método de Aquecimento a 103 -105° C em banho-maria.*

\*APHA (1992).

#### 4.4 Análise química dos metais

##### 4.4.1 Reagentes e equipamentos

As aberturas das amostras foram feitas em um Digesdahl Digestion Apparatus Modelo 23130-18 da marca Hach conforme Figura 4. Os reagentes utilizados foram de grau analítico e estão listados abaixo:

- a) Ácido sulfúrico P.A – CRQ, Diadema, São Paulo.
- b) Peróxido de hidrogênio – Vetec, Duque de Caxias, Rio de Janeiro.

Todas as soluções foram preparadas utilizando água destilada.



Figura 4. Equipamento Digesdahl Digestion Apparatus

#### 4.4.2 Preparação das amostras

As amostras refrigeradas foram deixadas em repouso, em local fresco e ao abrigo do sol, até atingirem a temperatura ambiente, posteriormente com um bastão de vidro homogeneizou-se as amostras para as análises.

#### 4.4.3 Digestão das amostras e do branco

- a) Transferiu-se 40 mL do efluente para um frasco de digestão e adicionou-se 4 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  P.A.
- b) Colocou-se no bloco digestor, previamente aquecido a  $220^\circ\text{C}$ , e manteve-se nesta temperatura até a evaporação total da água. Após a evaporação total da água, aumentou-se a temperatura até atingir  $440^\circ\text{C}$ , que é a temperatura de digestão da amostra, e aqueceu-se por 4 minutos. Nesse período o ácido sulfúrico sofreu refluxo indicando o término da primeira etapa da digestão.
- c) Com auxílio de um funil capilar acrescentou-se 16,7 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, via coluna de fracionamento, ao frasco de digestão e aqueceu-se por mais um minuto.
- d) Após a adição de completa de peróxido de hidrogênio, resfriou-se a amostra à temperatura ambiente. A amostra digerida foi diluída em 70 mL de água destilada sendo armazenada em frasco âmbar ao abrigo da luz.
- e) Para a abertura do branco o mesmo procedimento descrito acima foi utilizado, só que foi usado água destilada ao invés de amostra.

#### 4.4.4 Determinação de zinco (Zn), cobre (Cu), cádmio (Cd) e chumbo (Pb)

Após a digestão as amostras foram catalogadas e enviadas para a análise de metais no Laboratório Exata, localizado na cidade de Jataí – GO.

As análises de Zn, Cu, Cd e Pb foram realizadas em um Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) da marca Perkin Elmer, modelo Optima 5300 DV, nas condições descritas na Tabela 12.

Tabela 12. Condições de análise das amostras por Espectrometria de Emissão com Plasma Indutivamente Acoplado.

<b>Elemento</b>	<b>Comprimento de Onda (nm)</b>	<b>Vista</b>	<b>Potência (W)</b>
Zn	206,200	Axial	1500
Cu	327,393	Axial	1500
Cd	228,802	Axial	1500
Pb	220,353	Axial	1500

Foram preparadas curvas analíticas por meio da diluição de soluções padrão, marca Specsol®, de 1000 mg.L<sup>-1</sup> de cada analito nas seguintes concentrações: 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 mg.L<sup>-1</sup> para cada elemento (Anexo A, Figura A1).

#### 4.4.5 Limites de detecção e quantificação.

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram determinados pelos métodos descritos no Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1992), usando o branco das amostras. O cálculo dos limites de detecção e quantificação é feito automaticamente pelo software que acompanha o equipamento ICP-OES.

### 4.5 Análise termogravimétrica

#### 4.5.1 Pré-tratamento das amostras

- a) Transferiu-se 40 mL da amostra homogeneizada para um béquer com capacidade volumétrica de 100 mL. Colocou-se o béquer em uma estufa a vácuo, marca Nova Ética, pré-aquecida a 110 °C, e deixou em repouso por 24 horas.
- b) Os resíduos sólidos resultantes foram armazenados em béqueres e guardados em um dessecador para posterior análise.

#### 4.5.2 Determinação das curvas termogravimétricas

As curvas TG foram feitas em um analisador termogravimétrico modelo TG/SDTA 851e da Mettler Toledo nas condições descritas na Tabela 13.

Tabela 13. Condições para as análises das amostras por termogravimetria.

Parâmetros	Condições
Quantidade de amostra	≈ 7 mg
Faixa de temperatura da análise	25 a 1000°C
Razão de aquecimento	10 °C.min <sup>-1</sup>
Atmosfera de forno	N <sub>2</sub> com fluxo de 50 mL.min <sup>-1</sup>

## 4.6 Ecotoxicologia

### 4.6.1 Organismo teste

O organismo teste utilizado foi o peixe *Danio rerio* (Hamilton-Buchanam, 1822) (*Teleostei, Cyprinidae*) (Figura 5). Originário da Ásia, o “paulistinha”, como também é conhecido, é capaz de se adaptar a variadas condições ambientais, sejam elas naturais ou artificiais (KNIE, 2004).

Esses peixes podem possuir um comprimento entre 4 e 5 centímetros e vivem em média três anos. No Brasil, é comercializado como peixe ornamental. O seu uso nos testes de toxicidade se dá, entre outros fatores, aos seguintes aspectos: fácil disponibilidade, a existência de uma extensa bibliografia sobre seu uso e reprodução, capacidade de suportar as mais variadas intempéries e é internacionalmente conhecido pelo seu uso em testes de toxicidade (KNIE, 2004).



Figura 5. Peixe *Danio rerio*.

(Fonte: <http://www.forumaquario.com.br/portal/danio-rerio/>)

Os peixes foram adquiridos no comércio local, de uma distribuidora de peixes, localizada no município de Goiânia/GO. Os peixes foram aclimatados por um período de quarenta dias em água de abastecimento público (água de manutenção), previamente filtrada e aerada, por no mínimo 24 horas.

De acordo com a NBR 15088 (ABNT 2004) os peixes *Danio rerio*



devem ser aclimatados a água de diluição utilizada nos testes de toxicidade aguda. Os peixes permaneciam aclimatados por um período de, no mínimo, sete dias na água de diluição. A aclimação desses organismos ocorre depois que há a substituição de 25% da água de manutenção pela água de diluição durante um período de quatro dias consecutivos. Os peixes eram mantidos em aquários de 80L contendo a mesma água de diluição utilizada nos testes, sob aeração constante, o pH de  $7,0 \pm 0,4$ , a temperatura variando entre 25 e 27°C e um fotoperíodo de 16 horas de luz. Os peixes foram alimentados duas vezes ao dia com ração própria para a espécie.

Se depois desse período a mortalidade não excedesse a 5%, o lote era considerado viável e poderia ser utilizado nos testes de toxicidade aguda.

#### 4.6.2 Água de diluição

A água utilizada, tanto na aclimação dos organismos para o ensaio como no teste de toxicidade aguda, é chamada de água de diluição que deve apresentar pH entre 7,0 e 7,6 e dureza total entre 40 e 48 mg  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ .

De acordo com a NBR 15088 (ABNT, 2004), a água de diluição é preparada a partir das soluções de alguns sais como o sulfato de cálcio dihidratado, cloreto de potássio, bicarbonato de sódio e sulfato de magnésio heptaidratado e aerada por no mínimo 12 horas antes de sua utilização.

#### 4.6.3 Testes de sensibilidade

Para se avaliar a qualidade do sistema de teste e de seu ambiente é necessário avaliar, periodicamente a sensibilidade dos peixes com uma substância de referência. Essa substância desse ser quimicamente estável e de fácil manipulação.

A substância de referência utilizada nesse estudo foi o dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), cujas concentrações foram preparadas a partir de uma solução estoque de  $10 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$  e variaram entre:  $240 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $200 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $160 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $130 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ;  $110 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  e  $80 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , usando água de diluição para o

preparo das mesmas e um controle contendo apenas água de diluição (TAVARES, 2008).

Essa sensibilidade deve ser avaliada através dos testes de sensibilidade, cuja configuração, é a mesma do testes definitivos de toxicidade aguda.

De acordo com a NBR 15088 o valor obtido deve estar compreendido entre  $\pm 2$  desvios-padrão em relação aos valores médios anteriormente obtidos para a mesma espécie, que corresponde à carta-controle.

#### 4.6.4 Testes de toxicidade aguda

Todos os testes de toxicidade aguda (definitivos e preliminares) foram realizados, em cada um dos pontos coletados (pontos A, D e F) do efluente avaliado conforme mostra a Figura 2. Estes testes constam na NBR 15088 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que dispõe sobre “*um método de avaliação da toxicidade aguda em amostras de efluentes líquidos quando em contato com os peixes Danio rerio e Pimephales promelas*”.

Após o período de aclimação, descrito anteriormente, os peixes foram expostos a concentrações crescentes do efluente para a verificação da mortalidade (efeito agudo), sendo o teste denominado de teste de toxicidade preliminar.

Com o intuito de se conhecer a faixa aproximada de toxicidade do efluente estudado, levou-se em consideração a menor diluição que causou letalidade em 100% dos peixes e a diluição que não se observou esse efeito (KNIE; LOPES, 2004).

A alimentação dos peixes foi interrompida 24 horas antes do início dos testes, situação que foi mantida ao longo das 48 horas do ensaio. Realizou-se o teste preliminar usando o sistema estático, onde não há a renovação da amostra durante todo o período de execução.

Esses testes foram conduzidos em aquários com capacidade volumétrica de 1,5L onde foram colocados três organismos testes em cada aquário. Para cada efluente (pontos A, D e F) foram utilizados seis concentrações e um controle contendo somente água de diluição.

As concentrações das soluções usadas no teste preliminar constam

na Tabela 14.

Tabela 14. Volume das amostras dos pontos A, D e F para o preparo das soluções teste para os testes preliminares.

<b>Solução teste (%)</b>	<b>Fator de diluição</b>	<b>Volume da amostra (mL)</b>	<b>Volume de água de diluição (mL)</b>	<b>Volume final (mL)</b>
100	1	1000	-	1000
50	2	500	500	1000
25	4	250	750	1000
12,5	8	125	875	1000
6,2	16	62	938	1000
3,1	32	31	969	1000

Durante o teste de toxicidade aguda foram monitorados os seguintes parâmetros: O.D, condutividade, pH, sal, TDS, temperatura, dureza e turbidez nos períodos de tempo de 0, 24 e 48 horas.

Após os testes preliminares, preparou-se os testes definitivos de toxicidade aguda usando as concentrações que constam nas Tabelas 15 e 16 respectivamente.

Tabela 15. Soluções teste dos efluentes A, D e F para os ensaios definitivos de toxicidade aguda; data: 14/07/2010.

<b>Efluente</b>	<b>Solução teste (%)</b>	<b>Fd*</b>	<b>V<sub>am</sub> (mL)</b>	<b>V<sub>a</sub> (mL)</b>	<b>V<sub>f</sub> (mL)</b>
A	80	1,25	2400	600	3000
	70	1,43	2100	900	3000
	60	1,67	1800	1200	3000
	55	1,82	1650	1350	3000
	50	2	1500	1500	3000
	25	4	750	2250	3000
D	70	1,43	2100	900	3000
	60	1,67	1800	1200	3000
	50	2	1500	1500	3000
	40	2,5	1200	1800	3000
	30	3,33	900	2100	3000
	25	4	750	2250	3000
F	50	2	1500	1500	3000
	40	2,5	1200	1800	3000
	30	3,33	900	2100	3000
	25	4	750	2250	3000
	22,5	4,44	675	2325	3000
	20	5	600	2400	3000

\*Fd = fator de diluição; V<sub>am</sub>= Volume da amostra; V<sub>a</sub> = volume de água de diluição; V<sub>f</sub> = volume final.

Tabela 16. Soluções teste dos efluentes A, D e F para os ensaios definitivos de toxicidade aguda; data: 05/04/2011

Efluente	Solução teste (%)	Fd*	V <sub>am</sub> (mL)	V <sub>a</sub> (mL)	V <sub>f</sub> (mL)
A	100	1	3000	0	3000
	80	1,25	2400	600	3000
	50	2	1500	1500	3000
	25	4	750	2250	3000
	6,25	16	187,5	2812,5	3000
	3,125	32	93,75	2906,25	3000
D	100	1	3000	0	3000
	80	1,25	2400	600	3000
	50	2	1500	1500	3000
	25	4	750	2250	3000
	6,25	16	187,5	2812,5	3000
	3,125	32	93,75	2906,25	3000
F	100	1	3000	0	3000
	50	2	1500	1500	3000
	30	3,33	900	2100	3000
	20	5	600	2400	3000
	6,25	16	187,5	2812,5	3000
	3,125	32	93,75	2906,25	3000

\*Fd = fator de diluição; V<sub>am</sub>= Volume da amostra; V<sub>a</sub> = volume de água de diluição; V<sub>f</sub> = volume final.

Esses testes foram conduzidos em aquários com capacidade volumétrica de 3L e em cada aquário foram colocados 10 organismos testes. Foram utilizados, para cada efluente (pontos A, D e F), seis concentrações mais um controle, sendo colocado no último somente água de diluição.

Realizou-se o teste definitivo de toxicidade aguda usando o sistema estático, onde não há a renovação da amostra durante todo o período de execução. Durante o teste foram monitorados os seguintes parâmetros: O.D, condutividade, pH, sal, TDS, temperatura, dureza e turbidez nos períodos de tempo de 0, 24 e 48 horas. A configuração do teste consta na Tabela 17.

Tabela 17. Resumo da configuração do teste definitivo de toxicidade aguda.

Requisitos	Espécie: <i>Danio rerio</i>
Tipo de ensaio	Estático: 48 horas
Água de diluição	Água reconstituída
Número de diluições	6, mais um controle
Replicatas por diluição	Uma
Alimentação	Nenhuma
Temperatura	23 a 27°C
Fotoperíodo	15 horas
Efeito observado	Letalidade
Expressão dos resultados	CL <sub>50</sub>

## 4.7 Resultados dos testes de toxicidade aguda e outras análises estatísticas

### 4.7.1 Estimativa da $CL_{50}$

A  $CL_{50}$  média foi estimada através da mortalidade dos organismos teste em cada concentração, nos testes de toxicidade aguda realizados para todos os pontos do efluente estudado.

Esse parâmetro determina o efeito agudo em 50% dos organismos e foi calculado, para cada experimento, através do método estatístico Trimmed Spearman – Karber (HAMILTON et al., 1977).

Os valores obtidos de  $CL_{50}$  foram utilizados para classificar os efluentes quanto ao seu potencial tóxico que, de acordo com o CETESB (1987) é classificado como:

- Muito tóxica < 25%
- Moderadamente tóxica 25% - 50%
- Tóxica 51% - 75%
- Levemente tóxica > 75%

### 4.7.2 Outras análises estatísticas

Para medir a eficiência do tratamento utilizou-se a seguinte expressão matemática para avaliar a eficiência da ETE analisada (NIRENBERG; FERREIRA, 2005):

$$E(\%) = \left[ \left( \frac{S_0 - S}{S_0} \right) \right] \times 100 \quad \text{Eq.(1)}$$

Onde: **E**: eficiência do tratamento correspondente ao parâmetro físico-químico estudado;

**S<sub>0</sub>**: valor do parâmetro estudado para o efluente bruto;

**S**: valor do parâmetro estudado para o efluente tratado.

Para essa avaliação foram priorizados os seguintes parâmetros: DBO,

DQO, sólidos totais e óleos e graxas.

Para avaliar se houve diferença significativa entre os parâmetros físico-químicos medidos nos testes definitivos de toxicidade aguda em relação ao tempo (0, 24 e 48 horas) e se houve correlação entre os mesmos, foi feita uma análise de componentes principais (PCA) para todos os testes utilizando o software estatístico SPSS 16.0 da IBM.

Além disso, para verificar se houve diferença na  $CL_{50}/48h$  dos testes em função do ponto do efluente analisado, foi utilizado o teste U de Mann-Whitney, que compara duas amostras independentes, numa escala ordinal e com pequenas amostras.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Análise da eficiência da ETE através dos parâmetros DBO, DQO, ST e óleos e graxas

#### 5.1.1 DBO

Para todos os parâmetros físico-químicos medidos (DBO, DQO, ST e OG), os dados para a análise da eficiência, não foram homogêneos, devido o coeficiente de variação (CV) estar acima de 20%, de acordo com Pimentel Gomes (1987), (vide Anexo C, Tabela C1).

De acordo com Decreto Estadual N.º 1.745/79 da SEMARH observou-se que a DBO das amostras analisadas estão acima do limite máximo de 60 mg.L<sup>-1</sup>.

Os resultados das porcentagens de redução da DBO durante o processo de tratamento realizado pela ETE estão descritas na Tabela 18.

Tabela 18. Porcentagens da redução de DBO entre os pontos de coleta A – D, D – F e A – F.

Nº da coleta	DBO, % da redução		
	A – D*	D – F	A – F (total)
1	73,07	-273,97	-0,73
2	-35,45	-197,48	-302,93
3	-79,99	-197,01	-434,60
4	-816,67	25,05	-587,01

\* A – D: entre os pontos A e D; D – F: entre os pontos D e F; A – F: entre os pontos A e F (eficiência total).

Os resultados obtidos para a medida da eficiência da ETE, em termos da redução da DBO, indicaram que o tratamento utilizado no efluente do laticínio não foi padronizado, pois a cada coleta obteve-se resultados diferentes.

Os valores de redução de DBO negativos indicam adição de matéria

orgânica biodegradável ao longo do tratamento ou a ineficiência do processo quanto à redução do mesmo.

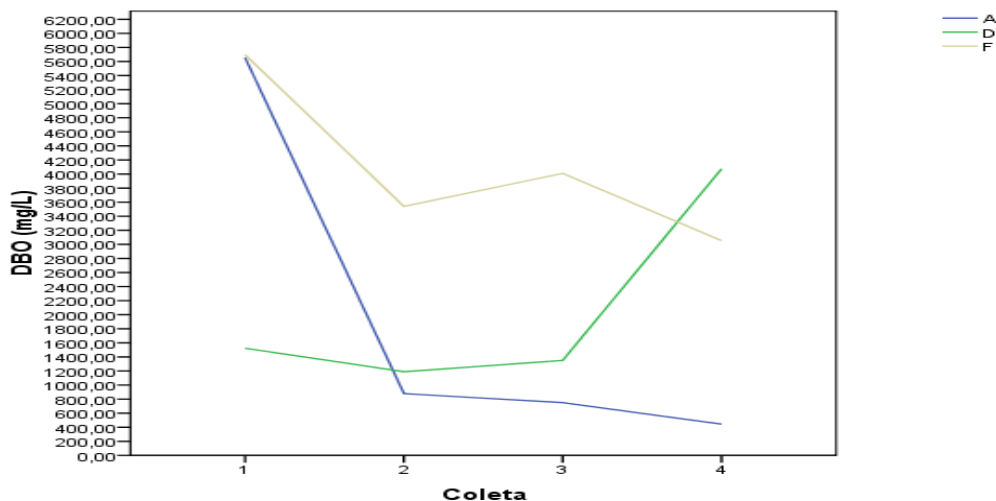


Figura 6. Gráfico de eficiência da redução de DBO (mg.L<sup>-1</sup>)

A Figura 6 mostra que houve um aumento considerável da DBO ao longo do processo de tratamento – tratamento primário e secundário – utilizado pela ETE. Isso pode ser explicado pelo acréscimo da matéria orgânica durante o tratamento primário, etapa de coagulação/floculação, pois o lodo gerado não foi removido de maneira satisfatória. Além disso, após o tratamento biológico, houve a adição de esgoto doméstico gerado pela própria indústria, explicando assim o aumento acentuado de matéria orgânica nesse ponto.

### 5.1.2 DQO

Outra característica importante das águas residuárias das indústrias de laticínios é a DQO e os valores das porcentagens de redução desse parâmetro estão descritos na Tabela 19.

Tabela 19. Porcentagens da redução de DQO entre os pontos de coleta A – D, D – F e A – F.

Nº da coleta	DQO, % da redução		
	A Æ D*	D Æ F	A Æ F (total)
1	2,89	-91,23	- 85,71
2	- 363,64	1,96	- 354,55
3	-1244,78	-2,25	-1275,00
4	- 999,86	-9,11	-1100,03

\* A – D: entre os pontos A e D; D – F: entre os pontos D e F; A – F: entre os pontos A e F (eficiência total).



A Tabela 19 mostra que houve um aumento acentuado da DQO durante o processo de tratamento da ETE e entre as coletas. Os resultados de eficiência no ponto A – F (efluente bruto – efluente tratado) demonstra a ineficiência geral do tratamento das águas residuárias do laticínio, sendo que as eficiências, em todas as coletas, foram negativas, aumentando a carga poluidora do efluente gerado.

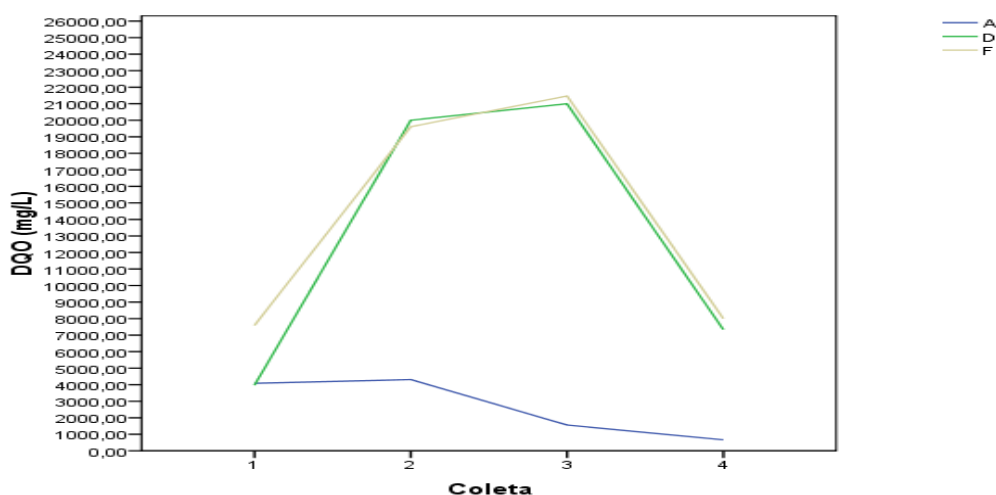


Figura 7. Gráfico de eficiência da redução de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )

Analisando a Figura 7 percebe-se que ocorre aumento da DQO em maior peso, entre os pontos A e D, nessa etapa é realizado o processo de coagulação/floculação, esses valores altos de DQO indicam que o processo é insatisfatório quanto à remoção desse parâmetro. As possíveis causas desse aumento acentuado estão relacionadas com as perdas de soro de leite ocasionadas na linha de produção. Já o tratamento biológico, realizado entre os pontos D e F, não contribuíram significativamente para o aumento da DQO no processo total de tratamento.

### 5.1.3 Relação DBO/DQO

A DBO e a DQO são dois dos parâmetros mais importantes em análises referentes a estudos ambientais. A DBO é tida como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável em condições aeróbias e a DQO objetiva a oxidação da matéria orgânica

através de agentes químicos.

### 5.1.3.1 Ponto A do efluente

Na Tabela 20 estão os valores médios de DBO e DQO, além da relação DBO/DQO e o desvio-padrão através dos dados obtidos nas análises dos efluentes.

Tabela 20. Número de amostras utilizadas para a obtenção dos valores médios de DBO, DQO e a relação DBO/DQO e seu desvio-padrão.

Parâmetros	ETE
Número de amostras	4
DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	1932,07
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	2656,32
Relação DBO/DQO	0,684
Desvio padrão da Relação DBO/DQO	0,505

De acordo com a Labger (2010) como a relação DBO/DQO foi de 0,684, esse efluente é biodegradável, ou seja, é facilmente degradado pela ação dos microorganismos decompositores. Além disso, espera-se que os valores de DBO dos efluentes industriais sejam sempre menores que os valores de DQO, como consta na tabela acima.

Os dados para obtenção dos valores descritos na Tabela 20 estão contidos no Anexo E, Tabela E1. Esses dados foram submetidos a uma regressão linear e plotados em um gráfico para avaliar a correlação dos parâmetros de DBO e DQO, Figura 8.

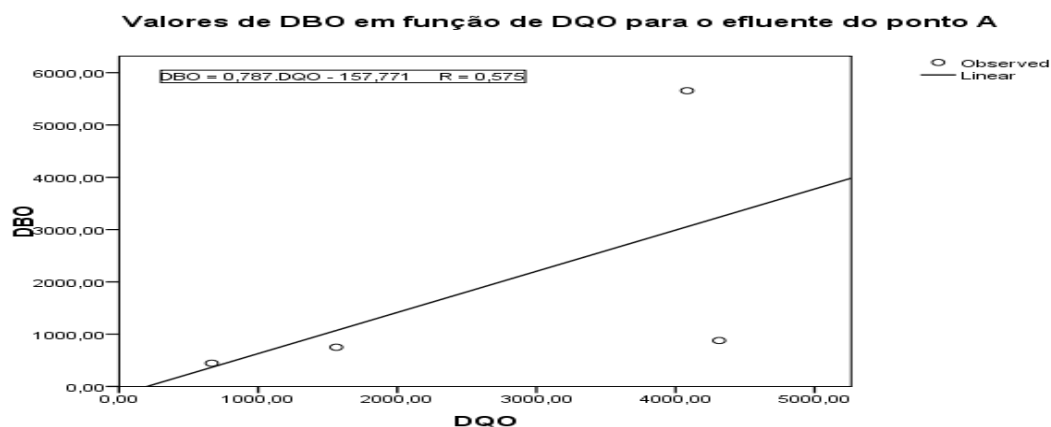


Figura 8. Concentrações de DBO (mg.L<sup>-1</sup>) em função de DQO (mg.L<sup>-1</sup>), ponto A

A relação DBO/DQO nos permite ainda estimar o valor de DBO a partir do valor de DQO. Os dados obtidos nesse estudo indicam que não podemos fazer essa estimativa, pois o desvio padrão calculado dos valores médios da relação DBO/DQO foi de 0,505 e o coeficiente de correlação  $R = 0,575$  na qual é considerada, de acordo com SANTOS (2008), uma correlação moderada positiva indicando que não podemos utilizar a equação proposta para estimar valores de DBO.

### 5.1.3.2 Ponto D do efluente

Os valores médios de DBO e DQO, a relação DBO/DQO para o efluente do ponto D e o seu desvio padrão estão descritos na Tabela 21.

Tabela 21. Número de amostras utilizadas para a obtenção dos valores médios de DBO, DQO e a relação DBO/DQO e seu desvio-padrão.

Parâmetros	ETE
Número de amostras	4
DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2034,35
DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	13074,43
Relação DBO/DQO	0,266
Desvio padrão da Relação DBO/DQO	0,246

Como a relação DBO/DQO foi de 0,266, e de acordo com a Labger (2010) parte da matéria orgânica presente nesse efluente não é biodegradável.

Os dados para a obtenção dos valores descritos na Tabela 21 estão dispostos no Anexo E, Tabela E2. Na Figura 9 foi plotado um gráfico para avaliar a correlação dos parâmetros de DBO *versus* DQO.

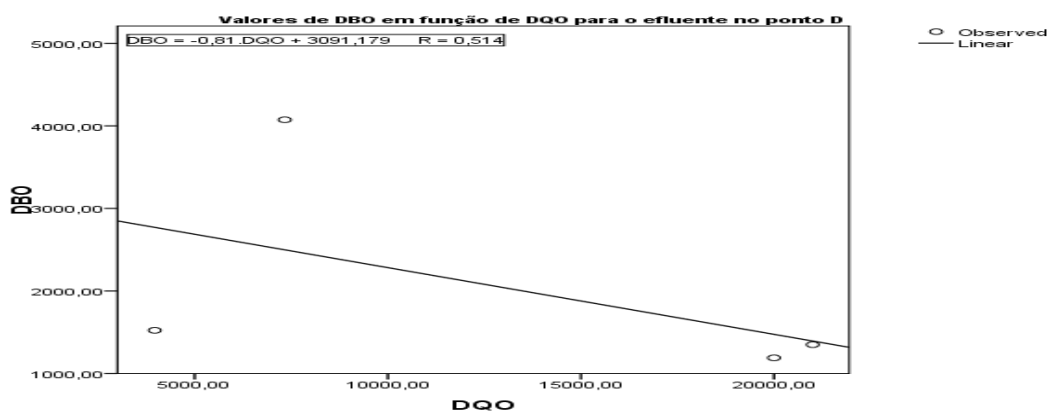


Figura 9. Concentrações de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em função de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), ponto D

O desvio padrão da relação DBO/DQO foi de 0,246 e o coeficiente de correlação  $R = 0,514$  que é considerado de acordo com Santos (2008) uma correlação fraca negativa indicando que não podemos estimar valores de DBO a partir dos valores de DQO. Neste ponto o efluente é de difícil biodegradabilidade e apresenta uma variação significativa entre os valores de DBO e DQO.

### 5.1.3.3 Ponto F do efluente

Para o ponto F os valores de DBO e DQO, a relação de DBO/DQO e o seu desvio padrão estão descritos na Tabela 22.

Tabela 22. Número de amostras utilizadas para a obtenção dos valores médios de DBO, DQO e a relação DBO/DQO e seu desvio-padrão.

Parâmetros	ETE
Número de amostras	4
DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	4074,90
DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	14165,79
Relação DBO/DQO	0,375
Desvio padrão da Relação DBO/DQO	0,268

A relação DBO/DQO foi de  $0,375 \pm 0,268$  e isso indica que parte da matéria orgânica não é biodegradável. Os valores obtidos na Tabela 22 foram calculados através dos dados descritos no Anexo E, Tabela E3. Foi plotado um gráfico DBO *versus* DQO, através da regressão linear, para analisar a correlação entre esses parâmetros, Figura 10.

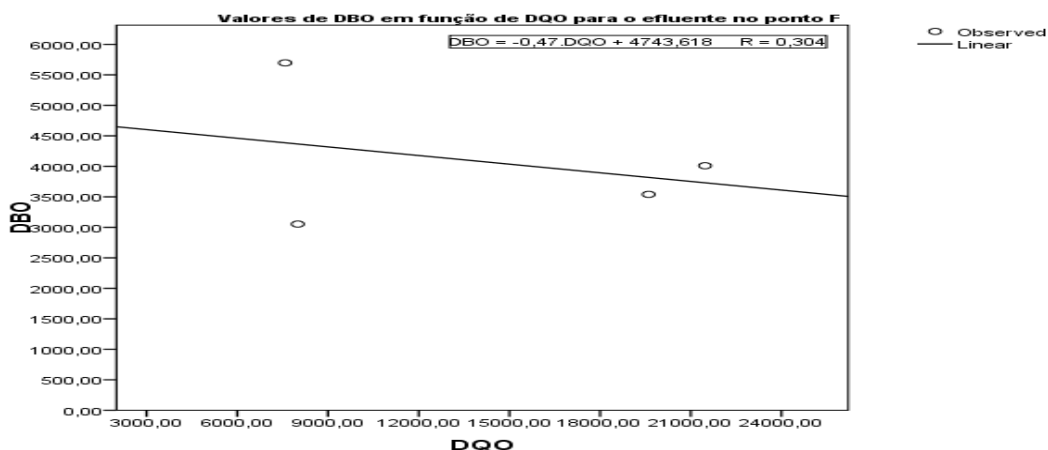


Figura 10. Concentrações de DBO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) em função de DQO ( $\text{mg.L}^{-1}$ ), ponto F

O desvio padrão da relação DBO/DQO foi de 0,268 e o coeficiente de correlação calculado  $R = 0,304$  é considerado por Santos (2008) como uma correlação moderada negativa indicando que não podemos usar a equação proposta, pela regressão linear, para estimar valores de DBO.

#### 5.1.4 Sólidos totais

As porcentagens de redução dos sólidos totais estão descritos na Tabela 23.

Tabela 23. Porcentagens da redução de ST entre os pontos de coleta.

Nº da coleta	ST, % da redução		
	A É D*	D É F	A É F (total)
1	-36,14	-67,25	-127,69
2	-404,54	20,57	-300,74
3	-1251,88	52,48	-542,43
4	-347,80	9,33	-306,03

\* A – D: entre os pontos A e D; D – F: entre os pontos D e F; A – F: entre os pontos A e F (eficiência total).  
NR: não realizado.

A Tabela 23 mostra que ocorreu o aumento acentuado de ST, em maior grau, entre os pontos A-D. Foi verificado na ETE estudada que o processo de retirada dos sólidos na superfície, etapa de coagulação/floculação, era ineficaz e não suportava a quantidade gerada de sólidos. Sendo que grande parte desses sólidos seguiam para as etapas posteriores do tratamento resultando nesse aumento considerável.

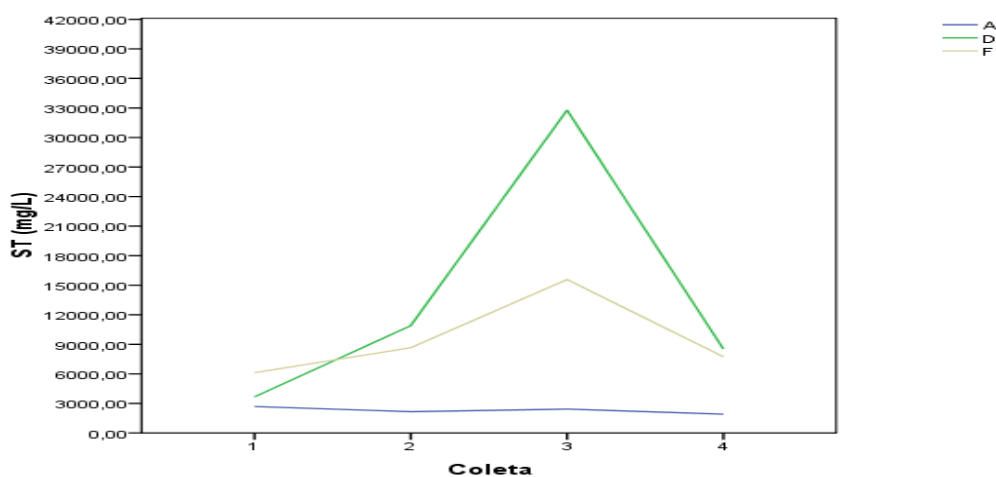


Figura 11. Gráfico de eficiência da redução de ST

Analisando a Figura 11 percebe-se que entre os pontos A e D houve aumento significativo de ST. Porém entre os pontos D-F, nas coletas 2, 3 e 4, houve a redução de ST devido a permanência do efluente nos tanques de tratamento biológico, onde os sólidos de maior densidade estão sendo decantados.

A eficiência geral do processo de tratamento, entre os pontos A e F, foi negativa em todas as coletas, indicando que o efluente de saída continha uma carga de sólidos elevada.

### 5.1.5 Óleos e graxas

De acordo com Decreto Estadual N.º 1.745/79 da SEMARH observou-se que o OG das amostras analisadas estão abaixo do limite máximo permitido de  $100 \text{ mg.L}^{-1}$ , exceto no ponto D na coleta 3 e no ponto F nas coletas 3 e 4.

As porcentagens de remoção dos óleos e graxas nos pontos coletados na ETE estão descritos na Tabela 24.

Tabela 24. Porcentagens da redução de OG entre os pontos de coleta A – D, D – F e A – F.

Nº da coleta	OG, % da redução		
	A Ë D*	D Ë F	A Ë F (total)
1	36,36	-22,86	21,82
2	-56,13	-29,67	-102,45
3	-320,96	-6,85	-349,78
4	52,92	-304,31	-90,36

\* A – D: entre os pontos A e D; D – F: entre os pontos D e F; A – F: entre os pontos A e F (eficiência total).  
NR: não realizado.

A eficiência apresentou uma grande variabilidade, com valores entre 21,82% e -349,78%. A Tabela 24 mostra que houve um aumento de OG ao longo do processo de tratamento, sendo esse aumento evidenciado nas duas etapas do processo de tratamento entre os pontos A-D e entre os pontos D-F, sendo que nessa última houve a adição do esgoto doméstico da própria indústria.

Desse modo, percebe-se que o aumento de OG foi diretamente influenciado pela ineficácia do processo e adição do esgoto doméstico,

Figura 12.

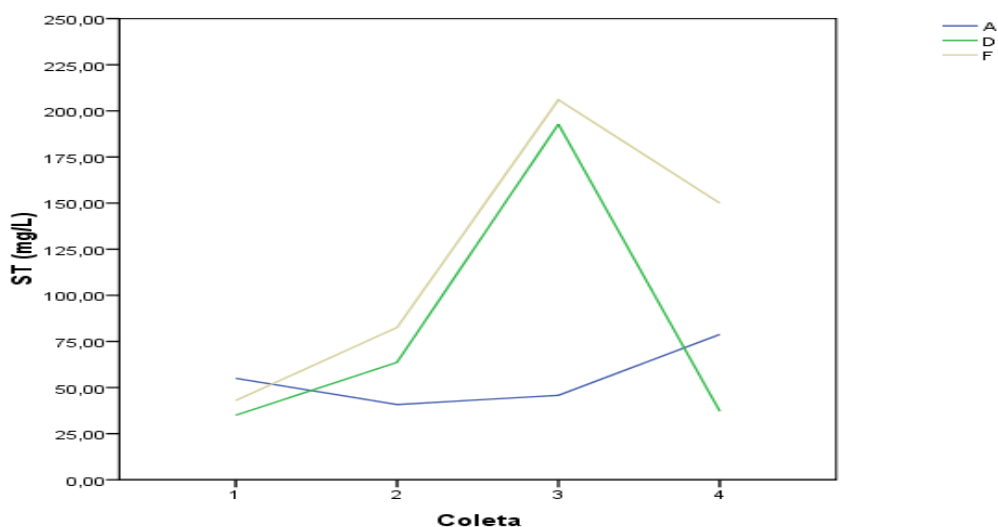


Figura 12. Gráfico de eficiência da redução de OG

## 5.2 Análises de metais

As concentrações dos metais Zn, Cu, Cd e Pb e os seus respectivos limites de detecção e quantificação estão apresentadas na Tabela 25. Foram avaliados todos os efluentes estudados e os dados para a obtenção das médias descritas na tabela estão dispostos no Anexo D, Tabela D1.

Tabela 25. Concentração média e remoção para os parâmetros determinados.

Metais	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )			LD*	LQ*	Remoção (%)		
	Ponto A	Ponto D	Ponto F			A-D	D-F	A-F
Cd	0,005	0,005	0,005	0,001	0,005	0	0	0
Pb	0,037	0,034	0,029	0,008	0,027	8,1	14,7	21,6
Cu	0,459	0,217	0,191	0,002	0,007	52,7	5,6	58,3
Zn	0,271	0,235	0,245	0,002	0,006	13,2	-4,2	9,5

\*LD: limite de detecção; LQ: limite de quantificação

As concentrações mais elevadas foram as dos metais Zn e Cu que variaram de 0,235 a 0,271 mg.L<sup>-1</sup> e 0,191 a 0,459 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente, quando comparados aos outros elementos. O nível de Pb variou entre 0,029 a 0,037 mg.L<sup>-1</sup> enquanto que o Cd manteve-se constante entre os pontos, 0,005 mg.L<sup>-1</sup>. Todos os valores encontrados para os metais analisados ficaram abaixo do limite permitido pela SEMARH, para Zn, Cu, Cd e Pb,

conforme Decreto Nº 1745 (Brasil, 1979) para o lançamento em rios.

Todas as concentrações encontradas ficaram acima dos limites de detecção e quantificação.

Analisando os dados da Tabela 25 pode-se observar que houve remoção maior dos metais quantificados entre os pontos A-D, sendo que nos pontos D-F a redução foi menor apresentando somente uma remoção negativa para o Zn.

Segundo Damasceno e Campos (1997) a remoção dos metais potencialmente tóxicos pode ser influenciada pela remoção dos SST (Sólidos Totais Suspensos), como observado entre os pontos A-D. Nesse ponto é realizado o processo de coagulação/floculação e a retirada dos sólidos resultantes desse processo, faz com que o valor de SST decresça, acompanhado diretamente pela diminuição das concentrações dos metais.

Os parâmetros que podem determinar a remoção, entre os pontos D-F, são a quantidade de horas no decantador secundário e a permanência do efluente no tanque de aeração.

Como mostrado na Tabela 25 o metal Zn apresentou uma remoção negativa, essa situação pode ser resultante da solubilização do metal que estava ligado ao floco ou de sedimentação insatisfatória nos decantadores secundários.

### 5.3 Análise Termogravimétrica

A análise das curvas TG permitiu avaliar as termodecomposições do efluente nos pontos A, D e F estudados.

A Figura 13 mostra as decomposições de massa no ponto A do efluente entre as coletas realizadas (A2, A3 e A5)<sup>2</sup>.

As curvas TG, apresentadas na Figura 13, Figura 14 e Figura 15, apresentam três eventos térmicos distintos: sendo a primeira referente à perda de água, a segunda a perda de material orgânico e a terceira a perda de material inorgânico e, por final, possível formação de óxidos correspondentes.

---

<sup>2</sup>A2: Coleta nº2 do efluente no ponto A; A3: coleta nº3 do efluente no ponto A; A5: coleta nº5 do efluente no ponto A.



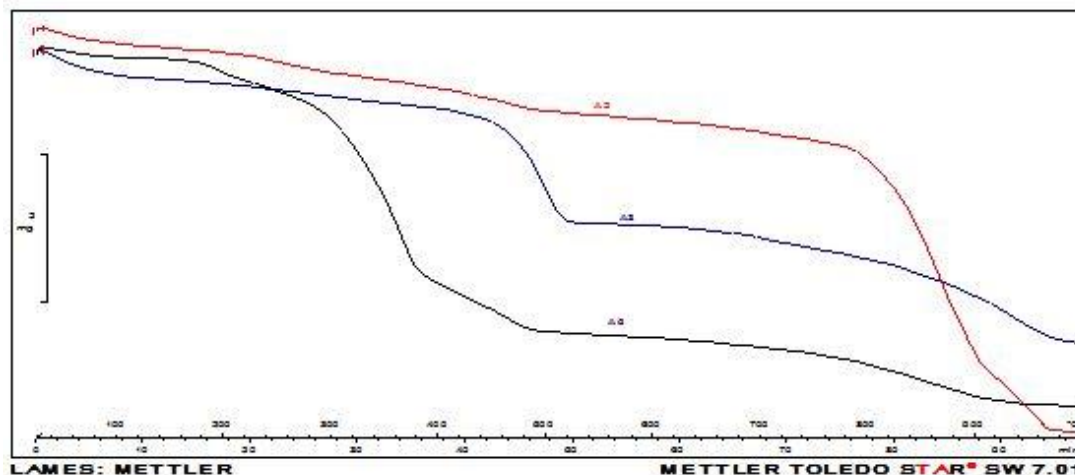


Figura 13. Curvas TG do efluente no ponto A nas coletas realizadas

Em A2, a primeira decomposição, referente à perda de água, ocorreu entre 25 e 100°C, com perda de massa de 5%, já a segunda decomposição, referente a perda de material orgânico biodegradável com cadeia molecular mais curta e/ou intermediária e de compostos orgânicos semi voláteis, ocorreu entre a faixa de temperatura de 160 a 760°C, com perda de massa de 22%. Na terceira perda de massa, referente à oxidação das cinzas e a redução de materiais inorgânicos ocorreu numa temperatura entre 640 e 1000°C, com perda de massa de 26,42%. Na temperatura de 1000°C apresentou 46,58% de resíduos referentes aos materiais inorgânicos.

Em A3, percebe-se três decomposições, sendo a primeira perda de massa de 7,55%, referente à evaporação de água da amostra, na qual ocorreu entre 25 e 140°C. A segunda decomposição ocorreu entre 205 a 590 °C com uma perda de massa de 34,75%, referente à perda de material orgânico. Na terceira perda de massa foi de 26,42% e ocorreu entre 625 a 1000°C, referente à porção inorgânica. Para A3 a quantidade de resíduos na temperatura de 1000°C foi de 31,28%.

Para A5, a primeira decomposição ocorreu entre 25 e 120°C, com perda de massa de 2,60%, referente a perda de água. A segunda decomposição ocorreu entre 125 e 540°C, com perda de massa de 68,21%, referente à porção orgânica da amostra. Na terceira perda de massa, referente à redução da porção inorgânica da amostra, ocorreu uma perda de 15,16% entre 660 a 960°C. A quantidade de resíduo em A5 na temperatura

de 1000°C foi de 14,03%.

Comparando-se as três curvas A2, A3 e A5 e suas respectivas porcentagens de perdas de massa, percebe-se que existe uma mesma tendência de decomposição térmica entre as amostras coletadas. Sendo assim o ponto A do efluente possui uma matriz de maior concentração de compostos orgânicos como evidenciado pela significativa perda de massa na segunda decomposição das curvas analisadas.

A Figura 14 mostra as perdas de massa do efluente no ponto D entre as coletas realizadas (D2, D3 e D5)<sup>3</sup>.

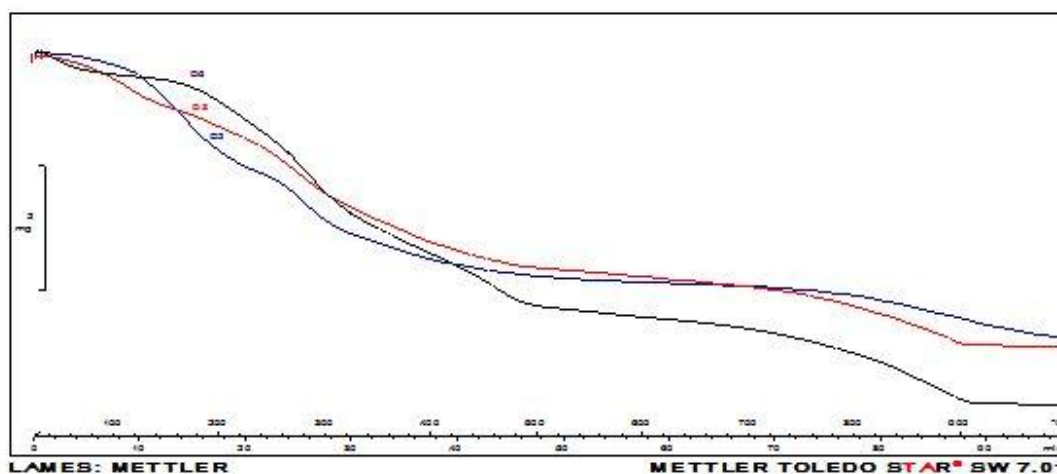


Figura 14. Curvas TG do efluente no ponto D nas coletas realizadas

Em D2, a primeira decomposição ocorreu entre 25 e 120°C, com perda de massa de 5,90%, referente a reações de desidratação da amostra. Já a segunda decomposição ocorreu entre 125 e 600°C com uma perda de massa de 63,01%, referente a reações de decomposição da porção orgânica da amostra. A terceira de perda de massa foi de 16,32% e ocorreu entre 640 a 1000°C, referente à redução da porção inorgânica da amostra. A quantidade de resíduos na temperatura de 1000°C foi de 14,77%.

Em D3, a primeira perda de massa foi de 14,27% e ocorreu entre 25 e 120°C, referente a perda de água. A segunda decomposição ocorreu entre 120 e 600°C com uma perda de massa de 61,10%, referente à decomposição da porção orgânica da amostra. A terceira decomposição

<sup>3</sup>D2: Coleta nº2 do efluente no ponto D; D3: coleta nº3 do efluente no ponto D; D5: coleta nº5 do efluente no ponto D.

ocorreu entre 600 e 980°C com uma perda de massa de 24,16%, referente a porção inorgânica da amostra. A quantidade de resíduos na temperatura de 1000°C foi de 0,47%.

Em D5, a primeira decomposição ocorreu entre 25 e 120°C com uma perda de massa de 6,96%, referente a desidratação da amostra. A segunda decomposição foi de 64,04% entre 120 e 520°C, caracterizando a porção orgânica da amostra e a terceira perda de massa foi de 22,15% entre 680 a 960°C, caracterizando a porção inorgânica da amostra. Na temperatura de 1000°C a quantidade de resíduos provenientes da redução dos compostos inorgânicos foi de 6,85%.

Analisando as decomposições das curvas D2, D3 e D5 percebe-se que as maiores perdas de massa ocorrem na segunda decomposição, indicando que o ponto D do efluente possui uma matriz com maior concentração de compostos orgânicos. E a porcentagem de resíduos no ponto D diminuiu em relação ao ponto A, possivelmente causado pelo tratamento realizado pela ETE.

A figura 15 mostra as decomposições de massa no ponto F do efluente entre as coletas realizadas (F2, F3 e F5)<sup>4</sup>.

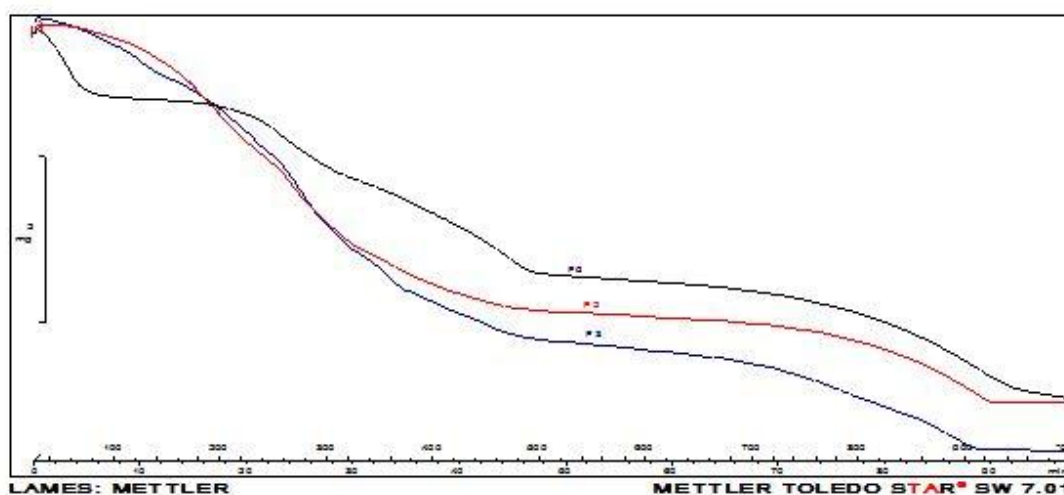


Figura 15. Curvas TG do efluente no ponto F nas coletas realizadas

Em F2, a primeira perda de massa, referente à desidratação da

<sup>4</sup>F2: Coleta n°2 do efluente no ponto F; F3: coleta n°3 do efluente no ponto F; F5: coleta n°5 do efluente no ponto F.

amostra, foi de 6,21% entre 25 e 120°C. Já a segunda decomposição ocorreu entre 120 e 560°C, com perda de massa de 60,56% referente a fração orgânica presente na amostra. A terceira decomposição ocorreu entre 580 a 980°C, com uma perda de massa de 20,25%, referente a reações de redução de compostos inorgânicos presentes em F2. Na temperatura de 1000°C a quantidade de resíduo foi de 12,98%.

Em F3, a primeira decomposição ocorreu entre 25 e 120°C, com uma perda de massa de 9,96%, relacionada com a desidratação da amostra. A segunda perda de massa foi de 58,36% entre 120 e 500°C e esteve relacionada com a porção orgânica da amostra. Já a terceira decomposição ocorreu entre 640°C a 980°C, com uma perda de massa de 19,93% referente a porção inorgânica da amostra. Na temperatura de 1000°C a quantidade de resíduos foi de 11,75%.

Em F5, a primeira decomposição ocorreu entre a faixa de temperatura de 25 a 120°C, com uma perda de massa de 15,52%, referente a reações de desidratação da amostra. A segunda perda de massa foi de 38,99% e ocorreu entre 160 a 500°C, relativo a reações com a fração orgânica da amostra. Já a terceira decomposição, relativa a fração inorgânica, ocorreu entre as temperaturas de 660 a 1000°C, com uma perda de massa de 24,97%. Na temperatura de 1000°C a quantidade de resíduos foi de 20,52%.

O ponto F do efluente, que é o efluente de saída, possui termo decomposições bem definidas e analisando as perdas de massa das curvas F2, F3 e F5 pode-se inferir que o efluente possui uma matriz com maior concentração de compostos orgânicos. Porém a quantidade de resíduos no ponto F é maior que no ponto D, possivelmente causado pela matéria inorgânica proveniente da adição do esgoto doméstico nesse ponto.

## 5.4 Ecotoxicologia

### 5.4.1 Teste de Sensibilidade

A  $CL_{50}$  média (n=2) estimada nos testes de toxicidade com a substância de referência  $K_2Cr_2O_7$  para o *Danio rerio* foi de 147,305 mg.L<sup>-1</sup>

com limite superior de 176,615 mg.L<sup>-1</sup> e limite inferior 123,130 mg.L<sup>-1</sup>. Esse valor está concordante com a literatura que estipula, de acordo com Knie e Lopes (2004), resultados em média de 150 a 250 mg.L<sup>-1</sup>.

#### 5.4.2 Testes de toxicidade

##### 5.4.2.1 Ponto A do efluente

As porcentagens de mortalidade nos testes definitivos de toxicidade aguda com o efluente do ponto A estão apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26. Porcentagem da mortalidade dos peixes submetidos a diferentes concentrações do efluente do ponto A.

[ ] %	Fator de diluição	Peixes mortos em %		[ ] %	Fator de diluição	Peixes mortos em %	
		Teste A <sup>t</sup>				Teste A <sup>h</sup>	
80	1,25	100	100	100	1	100	100
70	1,43	100	100	80	1,25	100	100
60	1,66	100	100	50	2	100	100
55	1,81	100	100	25	4	100	100
50	2	100	100	6,25	16	0	0
25	4	0	0	3,125	32	0	0
Controle	0	0	0	Controle	0	0	0

Os resultados da mortalidade desses organismos nos testes definitivos de toxicidade aguda são apresentados através de uma estimativa do CL<sub>50:48h</sub> para o efluente do ponto A (Tabela 27).

Tabela 27. Valores de CL<sub>50:48h</sub>, para os testes de toxicidade para o efluente do ponto A.

Teste	CL <sub>50:48h</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Limite de confiança de 95%		Classificação*
		Inferior	Superior	
A <sup>t</sup>	35,36	-	-	Moderadamente tóxico
A <sup>h</sup>	12,37	-	-	Muito tóxica

\*Fonte: CETESB (1987)

Portanto podemos observar que a toxicidade do efluente do ponto A (efluente bruto) variou entre os testes, sendo classificada como moderadamente tóxico e muito tóxico. Esses valores altos de toxicidade confirmam a premissa de que o efluente de laticínio deve ser tratado de

forma adequada, pois se forem lançados sem tratamento, em rios ou solos, podem causar maiores impactos ambientais.

As variáveis físico-químicas medidas durante os ensaios de toxicidade aguda foram analisadas pela técnica de PCA. Foram realizadas análises para os dois testes,  $A_1$  e  $A_2$ , com o intuito de identificar padrões de variabilidade dos parâmetros físico-químicos em relação ao tempo e concentração.

- Teste  $A_1$

Uma análise de componentes principais foi conduzida nos oito parâmetros medidos pelo método de rotação oblíqua promax, o qual apresentou os melhores resultados.

A matriz de correlação das variáveis no teste  $A_1$  (Tabela F2, Anexo F) possui um determinante menor que 0,00001. Isso pode suscitar a hipótese de que a matriz de correlação apresenta multicolinearidade ou singularidade, ou seja, variáveis excessivamente ou perfeitamente correlacionadas, respectivamente. Fazendo um exame da matriz de correlação observa-se que houve uma correlação forte,  $R > 0,9$ , entre as variáveis: condutividade, dureza, TDS e a concentração.

A medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) verificou a adequação amostral para a análise cujo valor foi de 0,639 na qual indica que o método de análise fatorial é razoavelmente adequado para o tratamento dos dados. O teste de esfericidade de Bartlett, qui-quadrado  $(28) = 306,708$  com o  $p$  menor que 0,001, indicou que as correlações entre os parâmetros físico-químicos são suficientes para a realização da análise (Tabela F3, ANEXO F).

A análise dos autovalores (eigenvalues) mostrou que dois componentes obedeceram ao critério de Kaiser maior que 1 e explicaram 83,16% da variância (Tabela F4, ANEXO F).

A Figura 16 mostra um gráfico de componentes principais para o teste  $A_1$ , o CP1 explicou 64,5% da variância total dos dados e relacionou os aspectos de compensação das variáveis físico-químicas com a concentração.

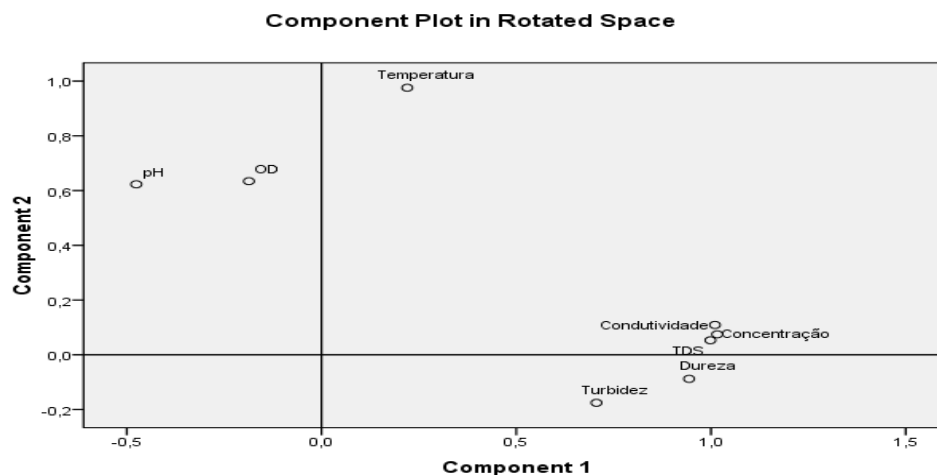


Figura 16. PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes A'

Na CP1 a concentração esteve positivamente associada com a condutividade, TDS, dureza e turbidez e negativamente associada ao OD e pH, enquanto que fracamente associada a temperatura. Essas observações indicam que altas concentrações do efluente A, do teste A', estiveram relacionadas a altos valores de sólidos totais ou dissolvidos e baixos valores de OD, consequentemente influenciados pelo aumento da matéria orgânica. Não foi relacionado e nem expresso a variável salinidade, pois sua variância foi zero.

Na CP2 a variância explicada foi de 18,7% dos dados e mostrou que houve uma associação negativa principalmente em OD e turbidez, enquanto que o pH e temperatura mantiveram-se estáveis. Essas combinações indicam que durante o tempo do teste (48 horas) as variáveis OD e turbidez decresceram significativamente em relação ao tempo e a concentração.

- Teste A''

A análise foi feita em sete parâmetros medidos pelo método de rotação oblíqua promax.

A matriz de correlação das variáveis no teste A'' (Tabela F6, Anexo F) possui um determinante menor que 0,00001, ou seja, as variáveis podem estar excessivamente correlacionadas. Fazendo um exame da matriz de

correlação observa-se que houve uma correlação forte,  $R > 0,9$ , entre a maioria das variáveis, indicando uma correlação quase linear.

A medida de KMO verificou a adequação amostral para a análise cujo valor foi de 0,750 no qual indica que o método de análise fatorial é medianamente adequado para o tratamento dos dados. O teste de esfericidade de Bartlett, qui-quadrado  $(21) = 389,612$  com o p menor que 0,001 indicou que as correlações entre os parâmetros físico-químicos são suficientes para a realização da análise (Tabela F7, ANEXO F). Dois componentes obedeceram ao critério de Kaiser maior que 0,9 e explicaram 93,06% da variância (Tabela F8, ANEXO F).

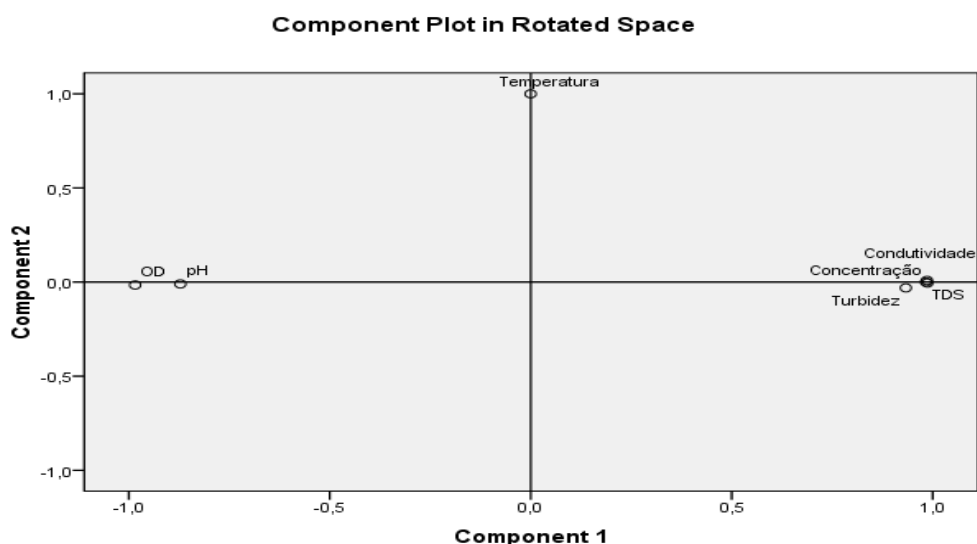


Figura 17. PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes A”

A Figura 17 mostra um gráfico de componentes principais para o teste A”. Na CP1, que explicou 80,20% da variância dos dados, a concentração esteve positivamente associada com a condutividade, TDS e turbidez e negativamente associada ao OD e pH, enquanto que fracamente associada a temperatura. Essas observações indicam que altas concentrações do efluente A, do teste A<sub>2</sub>, estiveram relacionadas a altos valores de sólidos e a altos valores de turbidez e condutividade e a baixos valores de OD e pH, conseqüentemente influenciados pelo aumento da matéria orgânica e suas reações de decomposição. Não foi relacionado e nem expresso a variável salinidade, pois sua variância foi zero.



Na CP2 a variância explicada foi de 12,86% dos dados e está relacionada somente com a temperatura. A matriz de correlações dos dados mostra uma fraca influência da temperatura em relação aos demais parâmetros, porém a temperatura ao longo do teste se manteve estável em média de 23,7°C.

#### 5.4.2.2 Ponto D do efluente

As porcentagens de mortalidade nos testes definitivos de toxicidade aguda com o efluente do ponto D estão apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28. Porcentagem da mortalidade dos peixes submetidos a diferentes concentrações do efluente do ponto D.

[ ] %	Fator de diluição	Peixes mortos em %	
		Teste D <sup>I</sup>	Teste D <sup>II</sup>
70	1,43	100	100
60	1,66	100	80
50	2	100	50
40	2,5	100	25
30	3,33	100	6,25
25	4	0	3,125
<b>Controle</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>Controle</b>

A CL<sub>50</sub>:48h calculada para cada teste foi feita a partir da mortalidade dos organismos testes nos ensaios definitivos para o efluente do ponto D (Tabela 29).

Tabela 29. Valores de CL<sub>50</sub>:48h, para os testes de toxicidade para o efluente D

Teste	CL <sub>50</sub> :48h (mg.L <sup>-1</sup> )	Limite de confiança de 95%		Classificação*
		Inferior	Superior	
D <sup>I</sup>	27,39	-	-	Moderadamente tóxica
D <sup>II</sup>	15,39	11,83	20,02	Muito tóxica

\*Fonte: CETESB (1987)

Portanto podemos observar que a toxicidade do efluente no ponto D variou entre os testes, sendo classificada como moderadamente tóxico e muito tóxico. Esses valores altos de toxicidade mostram que o tratamento

até esse ponto não reduziu significativamente a toxicidade do efluente inicial (efluente ponto A) permanecendo até então dentro da mesma classificação de toxicidade (CETESB, 1987) atribuída ao efluente do ponto A. Portanto reforça-se a premissa de que o processo de tratamento adotado pela ETE estudada se mostrou ineficiente quanto à redução da carga tóxica desse efluente.

As variáveis físico-químicas medidas durante os ensaios de toxicidade aguda foram analisadas pela técnica de PCA. Foram realizadas análises para os dois testes, D' e D'', com o intuito de identificar padrões de variabilidade dos parâmetros físico-químicos em relação ao tempo e concentração.

- Teste D'

Uma análise de componentes principais foi conduzida nos nove parâmetros medidos pelo método de rotação oblíqua promax.

A matriz de correlação das variáveis no teste D' (Tabela F10, ANEXO F) possui um determinante menor que 0,00001. Fazendo um exame da matriz de correlação observa-se que houve uma correlação forte,  $R > 0,9$ , entre as variáveis: condutividade, dureza, sal, TDS e a concentração; e a turbidez com a temperatura.

A medida de KMO verificou a adequação amostral para a análise cujo valor foi de 0,644 na qual indica que o método de análise fatorial é razoavelmente adequado para o tratamento dos dados.

O teste de esfericidade de Bartlett, qui-quadrado  $(36) = 394,832$  com o p menor que 0,001 indicou que as correlações entre os parâmetros físico-químicos são suficientes para a realização da análise (Tabela F11, ANEXO F).

A análise dos autovalores mostrou que dois componentes obedeceram ao critério de Kaiser maior que 1 e explicaram 88,89% da variância (Tabela F12, ANEXO F).

A Figura 18 mostra um gráfico de componentes principais para o teste D'.

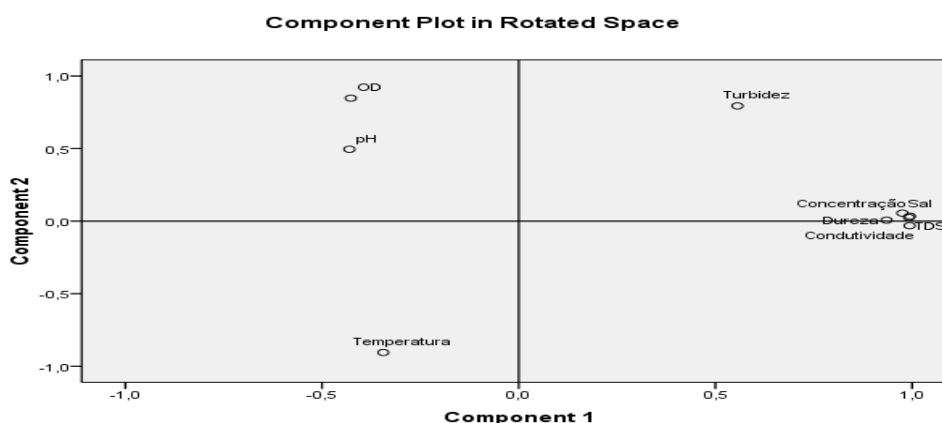


Figura 18. PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes D

A CP1 explicou 62,26% da variância do total dos dados, e mostrou que a variável concentração esteve positivamente associada com a condutividade, TDS, dureza, turbidez e sal; e negativamente associada ao OD e pH enquanto que, fracamente associada a temperatura. Essas observações indicam que altas concentrações do efluente D, do teste D', estão relacionados a altos valores de sólidos totais ou dissolvidos e a baixos valores de OD, conseqüentemente influenciados pelo aumento da matéria orgânica.

Na CP2 a variância explicada foi de 26,63% dos dados e mostrou que houve uma associação negativa entre pH e temperatura, confirmando a relação inversa entre esses parâmetros, enquanto que o OD variou em relação a concentração das amostras, ou seja, o aumento da concentração do efluente impulsionou a queda de OD, como conseqüência direta das reações de degradação de eventuais microorganismos decompositores de matéria orgânica.

- Teste D''

A análise foi feita em oito parâmetros medidos pelo método de rotação oblíqua, *direct oblimin*.

A matriz de correlação das variáveis no teste D'' (Tabela F14, ANEXO F) possui um determinante menor que 0,00001 e fazendo um exame da

matriz de correlação observa-se que houve uma correlação forte,  $R > 0,9$ , entre as variáveis: TDS, condutividade, turbidez, temperatura e concentração.

A medida de KMO verificou a adequação amostral para a análise cujo valor foi de 0,835 no qual indica que o método de análise fatorial é bom para o tratamento dos dados. O teste de esfericidade de Bartlett, qui-quadrado (21) = 333,939 com o p menor que 0,001 indicou que as correlações entre os parâmetros físico-químicos são suficientes para a realização da análise (Tabela F15, ANEXO F).

A análise dos autovalores mostrou que dois componentes obedeceram ao critério de Kaiser maior que 1 e explicaram 93,97% da variância (Tabela F16, ANEXO F).

A Figura 19 mostra um gráfico de componentes principais para o teste D<sub>2</sub>.

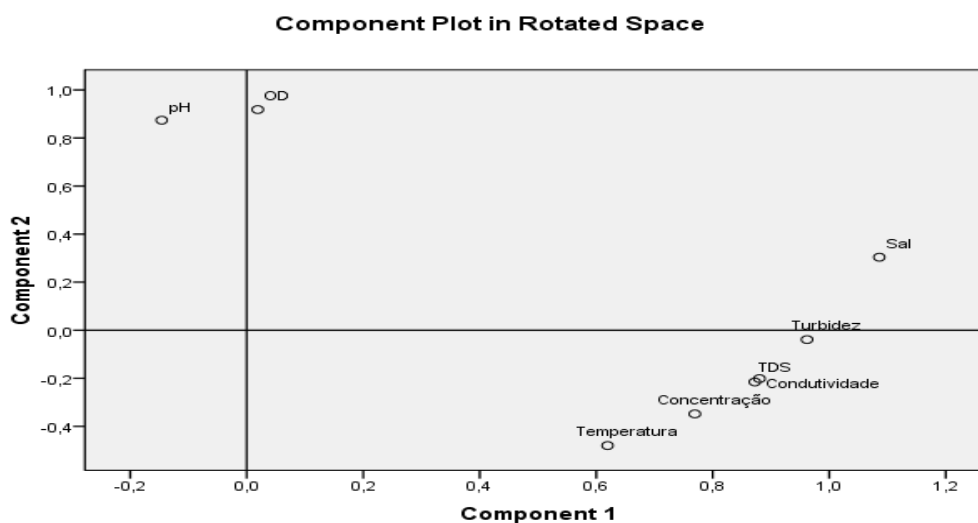


Figura 19. PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes D''

A CP1 explicou 80,20% da variância do total dos dados e mostrou que a concentração esteve positivamente associada com a condutividade, TDS e turbidez, sal e temperatura e negativamente associada ao OD e pH. Essas observações indicam que altas concentrações do efluente D, do teste D'', estiveram relacionadas a altos valores de sólidos e a altos valores de turbidez, condutividade e uma pequena variação na temperatura. Também o

aumento da concentração esteve associado a baixos valores de OD e pH, consequentemente influenciados pelo aumento da matéria orgânica e suas reações de decomposição.

Na CP2 a variância explicada foi de 13,76% dos dados e está relacionada com a variação de OD e pH. . Isso indica que OD e pH decresceram a níveis significativos devido ao tempo e ao aumento da concentração.

#### 5.4.2.3 Ponto F do efluente

As porcentagens de mortalidade nos testes definitivos de toxicidade aguda com o efluente do ponto F estão apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30. Porcentagem da mortalidade dos peixes submetidos a diferentes concentrações do efluente do ponto F.

[ ] %	Fator de diluição	Peixes mortos em %		[ ] %	Fator de diluição	Peixes mortos em %	
		Teste F <sup>t</sup>				Teste F <sup>II</sup>	
50	2	100		100	1	100	
40	2,5	70		50	2	80	
30	3,33	50		30	3,33	60	
25	4	0		20	5	0	
22,5	4,44	0		6,25	16	0	
20	5	0		3,125	32	0	
Controle	0	0		Controle	0	0	

A CL<sub>50</sub>:48h calculada para cada teste foi feita a partir da mortalidade dos organismos testes nos ensaios definitivos de toxicidade aguda para o efluente do ponto F (Tabela 31).

Tabela 31. Valores de CL<sub>50</sub>:48h, para os testes de toxicidade para o efluente F.

Teste	CL <sub>50</sub> :48h (mg.L <sup>-1</sup> )	Limite de confiança de 95%		Classificação*
		Inferior	Superior	
F <sup>t</sup>	33,25	29,94	36,93	Moderadamente tóxica
F <sup>II</sup>	33,19	26,95	40,87	Moderadamente tóxica

\*Fonte: CETESB (1987)

Portanto podemos observar que a toxicidade do efluente no ponto F não variou entre os testes, sendo classificada como moderadamente tóxica.

Esses valores de toxicidade mostram que após todo o tratamento realizado pela ETE, quando comparado ao efluente A, reduziu em pouco a toxicidade desse efluente. Porém é interessante observar que houve a redução, mesmo que pequena, da toxicidade. Provavelmente essa redução é consequência do tratamento biológico feito na última etapa de tratamento da ETE. Mesmo com essa pequena redução deve-se dar atenção a toxicidade moderada do efluente, pois o ideal seria que a toxicidade fosse eliminada antes do descarte nos rios ou solos receptores.

Já as variáveis físico-químicas medidas durante os ensaios de toxicidade aguda foram analisadas pela técnica de PCA. Foram realizadas análises para os testes F' e F''.

- Teste F'

Uma análise de componentes principais foi conduzida nos nove parâmetros medidos pelo método de rotação oblíqua promax.

A matriz de correlação das variáveis no teste F' (Tabela F18, ANEXO F) possui um determinante menor que 0,00001. Fazendo um exame da matriz de correlação observa-se que houve uma correlação forte,  $R > 0,9$ , entre as variáveis: condutividade, dureza, sal, TDS e a concentração.

A medida de KMO verificou a adequação amostral para a análise cujo valor foi de 0,796 na qual indica que o método de análise fatorial é medianamente adequado para o tratamento dos dados. O teste de esfericidade de Bartlett, qui-quadrado  $(36) = 417,655$  com o p menor que 0,001 indicou que as correlações entre os parâmetros físico-químicos são suficientes para a realização da análise (Tabela F19, ANEXO F).

A análise dos autovalores mostrou que três componentes obedeceram ao critério de Kaiser maior que 1 e explicaram 97,54% da variância (Tabela F20, ANEXO F).

A Figura 20 mostra um gráfico de componentes principais para o teste F', o CP1 explicou 69,23% da variância do total dos dados e relacionou os

aspectos de compensação das variáveis físico-químicas com a concentração.

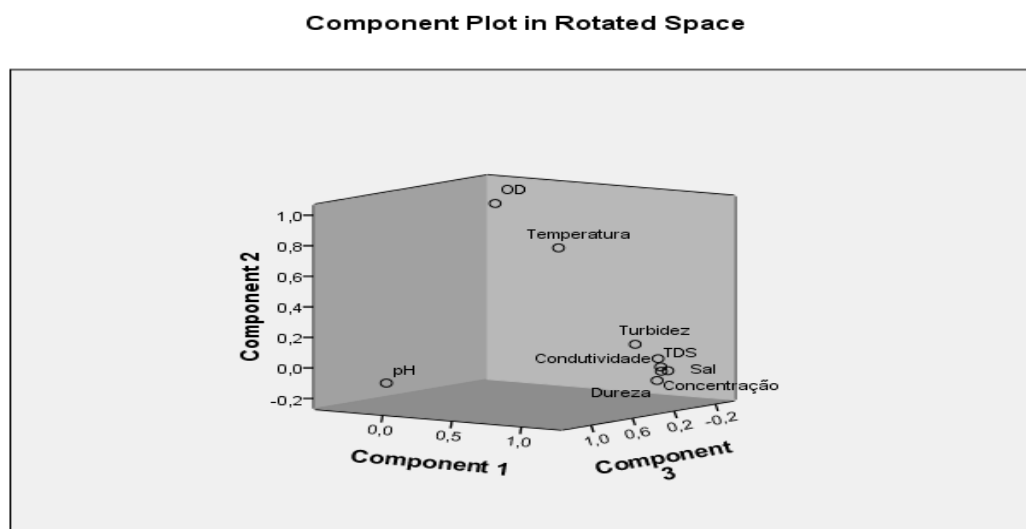


Figura 20. PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes F'

Na CP1 a concentração esteve positivamente associada com a condutividade, TDS, dureza, turbidez e sal, formando um grupo bem definido; e negativamente associada ao OD. O pH por sua vez obteve associação negativa fraca somente com o OD. Essas observações indicam que altas concentrações do efluente F, do teste F', estiveram relacionados a altos valores de sólidos totais ou dissolvidos e baixos valores de OD, consequentemente influenciados pelo aumento da matéria orgânica.

Na CP2 a variância explicada foi de 16,53% dos dados e mostrou que houve uma associação positiva entre OD e temperatura, ou seja, ao longo dos dias de análise a variação da temperatura foi acompanhada pelo decréscimo do OD.

Na CP3 a variância explicada foi de 11,77% e representa a variável pH. O pH não obteve associação forte com nenhuma outra variável. Ao longo do teste, pois se manteve praticamente constante.

- Teste F''

A análise foi feita em oito parâmetros medidos pelo método de rotação

oblíqua, *direct oblimin*.

A matriz de correlação das variáveis no teste F” (Tabela F22, ANEXO F) possui um determinante menor que 0,00001 e fazendo um exame da matriz de correlação observa-se que houve uma correlação forte,  $R > 0,9$ , entre as variáveis: TDS, condutividade e sal.

A medida de KMO verificou a adequação amostral para a análise cujo valor foi de 0,585 no qual indica que o método de análise fatorial é considerado fraco para o tratamento dos dados, porém ainda é aceitável. O teste de esfericidade de Bartlett, qui-quadrado  $(21) = 333,505$  com o p menor que 0,001 indicou que as correlações entre os parâmetros físico-químicos são suficientes para a realização da análise (Tabela F23, ANEXO F).

A análise dos autovalores mostrou que dois componentes obedeceram ao critério de Kaiser maior que 1 e explicaram 86,54% da variância (Tabela F24, ANEXO F).

A Figura 21 mostra um gráfico de componentes principais para o teste F”.

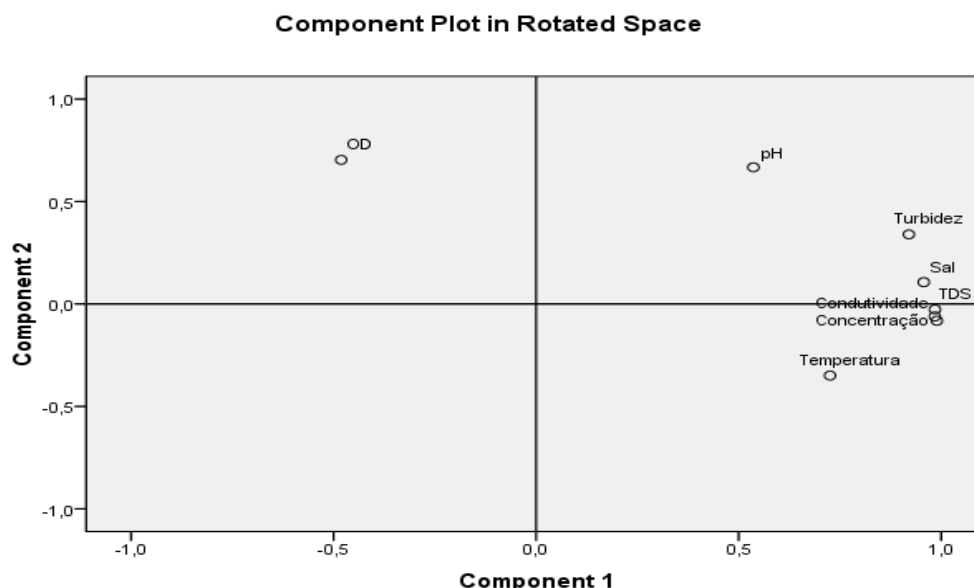


Figura 21. PCA para os parâmetros físico-químicos medidos durante os testes F”

A CP1 explicou 71,56% da variância do total dos dados e mostrou que a concentração esteve positivamente associada com a condutividade, TDS,



turbidez, sal, temperatura e pH. Porém esteve negativamente associada ao OD. Essas observações indicam que altas concentrações do efluente F, do teste F", estiveram relacionadas a altos valores de sólidos e a altos valores de turbidez, condutividade e uma pequena variação na temperatura. Também o aumento da concentração esteve associado a baixos valores de OD, conseqüentemente influenciados pelo aumento da matéria orgânica e suas reações de decomposição.

Na CP2 a variância explicada foi de 14,98% dos dados e está relacionada com a variação do OD e do pH. O aumento da concentração acarretou na diminuição do OD ao longo do teste, enquanto que no pH houve um aumento. Essa variação mostra a relação entre OD e pH com a variação das concentrações utilizadas nos testes.

### 5.5 Análises da eficiência da ETE em termos de redução de toxicidade

As porcentagens de redução da toxicidade do efluente de laticínio, descritas na Tabela 32, foram feitas para o efluente dos pontos A e F com o intuito de analisar a eficiência de redução da toxicidade quanto ao efluente bruto e ao efluente tratado.

Tabela 32. Porcentagens da redução de toxicidade do efluente de laticínio nos pontos A e F para os valores de CL<sub>50</sub>:48h

Teste	CL <sub>50</sub> :48h		% redução da toxicidade
	Bruto (efluente A)	Tratado (efluente F)	
A <sub>1</sub> /F <sub>1</sub>	35,36	35,36	0
A <sub>2</sub> /F <sub>2</sub>	12,37	40,87	69,73

A tabela mostra uma redução considerável da toxicidade do efluente bruto em relação ao efluente tratado no ensaio A<sub>2</sub>/F<sub>2</sub>. Sendo que no teste A<sub>1</sub>/F<sub>1</sub>, a ETE não reduziu a toxicidade do efluente bruto. Podemos observar que a redução da toxicidade variou de uma coleta a outra.

Foi realizado um teste U de Mann-Whitney para avaliar se houve diferença na CL<sub>50</sub>:48h em cada experimento em função do tipo de efluente. As hipóteses formuladas foram:

$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{H}_0: \text{n\~{o} existe diferen\~{c}a entre os tipos de efluentes com rela\~{c}\~{a}o a CL}_{50}:48\text{h}; \\ \mathbf{H}_1: \text{existe diferen\~{c}a entre as CL}_{50}:48\text{h do efluente bruto com o efluente tratado, a ponto de causar igual ou maior mortalidade.} \end{array} \right.$

O valor de  $p$  para o teste foi de 0,221. Como o valor de  $p$  encontrado \u00e9 maior que 0,05 deve se aceitar a hip\u00f3tese nula. Portanto a an\u00e1lise verificou que n\u00e3o existe diferen\~{c}a entre os efluentes brutos e tratados com rela\~{c}\~{a}o aos valores de CL<sub>50</sub>:48h.

## 6. CONCLUSÃO

Através do trabalho realizado, algumas conclusões importantes devem ser levadas em consideração, tais como:

- A ETE da indústria de laticínios mostrou-se ineficiente na redução dos valores dos parâmetros físico-químicos analisados. Houve uma grande variabilidade dos parâmetros entre as coletas indicando que há a falta de padronização no processo de tratamento. Comparando os pontos A, D e F, foi verificado o aumento da concentração dos parâmetros em geral ocorreram na medida em que o processo de tratamento foi executado, ou seja, as etapas de tratamento não estão removendo e sim incrementando.
- Os valores dos parâmetros analisados desde o efluente bruto (efluente A) até ao efluente tratado (efluente F) estão acima do permitido pelo Decreto Estadual N.º 1.745/79 da SEMARH e da Resolução 357 do CONAMA que estipulam níveis máximos quanto à carga poluidora de um afluente. Esse fato indica que o efluente de saída ao ser jogado em um corpo receptor ou em solos pode causar impactos ambientais.
- As amostras apresentaram concentrações dos metais Zn, Cu, Cd e Pb abaixo dos níveis permitidos pela legislação estadual vigente, porém essas análises devem ser contínuas devido ao efeito bioacumulativo e tóxico desses metais em organismos vivos. Sugere-se que a remoção desses metais foram influenciadas em grande

parte, pela remoção dos sólidos suspensos realizado entre os pontos A-D na etapa do tratamento primário.

- A termogravimetria (TG) permitiu avaliar o perfil térmico dos pontos A, D e F analisados. Todos os pontos apresentaram três decomposições, sendo a primeira referente à desidratação das amostras, a segunda relativa à porção orgânica e a terceira referente à porção inorgânica da amostra. A matriz do efluente possuía, em todos os pontos, maior concentração de compostos orgânicos.
- A toxicidade do efluente,  $CL_{50}:48h$ , nos pontos A e D variaram de muito tóxica a moderadamente tóxica. Já no ponto F a toxicidade foi classificada como moderadamente tóxica. Apesar da toxicidade moderada ao longo do processo, com uma  $25\% < CL_{50}:48h < 50\%$ , esse efluente pode causar mortalidade as espécies vivas se lançado em rios ou solos, podendo causar impactos ambientais mais severos.
- A análise quanto à redução da toxicidade mostrou que não houve diferença entre a mortalidade dos peixes em função do tipo de efluente, de acordo com o teste U de Mann-Whitney.
- A análise dos parâmetros físico-químicos medidos durante os testes definitivos de toxicidade aguda dos efluentes A, D e F possibilitou a observação de um grupo bem definido na CP1. Os parâmetros positivamente relacionados com concentração são: TDS, condutividade, dureza e salinidade. Ao mesmo tempo em que se observou que o OD variou negativamente em relação ao aumento da concentração, indicando que os efluentes analisados possuem alta capacidade de depuração de  $O_2$ , em consequência direta das reações realizadas por microorganismos decompositores. Em alguns modelos descritos, pode-se ver a influência inversa do pH com a temperatura sendo que o pH sofreu pequenas variações durante os testes.
- Os resultados dos testes de toxicidade e as análises físico-químicas realizadas com o efluente da ETE do laticínio estudado demonstram a

importância do monitoramento adequado deste efluente, utilizando-se testes ecotoxicológicos para a previsão de possíveis impactos que esses efluentes industriais podem causar aos corpos receptores.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA (1992). **Standart Methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association. American Water Works Association. Water Enviromental Federation, 16<sup>th</sup> ed. Washington.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15088: Ecotoxicologia aquática – toxicidade aguda – método de ensaio com peixes**. São Paulo, 2004. 19 p.

ANDRADE, N. J.; MACÊDO, J. A. B. **Higienização na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela, 1996.

ANTUNES, A.J. **Funcionalidade de proteínas do soro de leite bovino**. Barueri: Manole, 2003. 135 p.

AVILA, C.R. de; GALLO, C.R. Pesquisa de Salmonella spp. em Leite Cru, Leite Pasteurizado Tipo C e Queijo “Minas Frescal” Comercializados no Município de Piracicaba - SP. **Sci.Agric.**, v. 53, n.1, p.159-163, jan./ abr. 1996.

AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. **As Bases Toxicológicas da Ecotoxicologia**. São Carlos: Rima, 2003. São Paulo: Intertox, 2003. Xviii, 340 p.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Tradução: Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2<sup>a</sup> Ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

Bourgeois, C., Mescle, J., Zucca, J. **Aspect microbiologique de la sécurité et de la qualité alimentaire. Microbiologie alimentaire.** Éditions Lavoisier, Paris, 1988.

BORGES, J. C. G.; ALVEZ L. C.; VEGARA-PARENTE, J. E.; FAUSTINO, M. A. G.; MACHADO, E. C. L. Ocorrência de infecção *Cryptosporidium* spp. em peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*). **Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária**, 18:60-61. 2009.

BRASIL (2005). Resolução Conama nº 357, 18 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 da outras providências.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 12 Mar. 2011.

BRITO, M.A.; BRITO, J.R.; ARCURI, E.; LANGE, C.; SILVA, M.; SOUZA, M. **Perigos biológicos.** EMBRAPA. 2005. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01\\_212\\_21720039247.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_212_21720039247.html)> Acesso em: 22 out. 2010.

CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 1999. 464 p.

CETESB (1986). Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Avaliação da toxicidade das águas, sedimentos dos rios e efluentes industriais da região de Cubatão.** São Paulo, CETESB, Relatório Técnico, Vol I e II, 76 e 136p. 1986.

CHAPMAN, P. M. Integrating toxicology and ecology: putting the “eco” into ecotoxicology. **Marine Pollution Bulletin**, Pergamon, n. 44, p. 7-15, 2002.

COLLINS, E.B.; HARTLEIN, K. **Influences of temperature on lactobacilli of nonfermented acidophilus milks.** J. Dairy Sci., Champaign, v. 65, p.883-6, 1982.

CONSEMA (2006) (Conselho Estadual do Meio Ambiente). **Resolução nº 129**, de 24/11/2006. Porto Alegre. 2006.

COSTA, C. R. **Treinamento em Procedimentos de Higienização em Laticínios**. Curitiba: 2001.

DAMASCENO, S.; CAMPOS, J. R. **Remoção de Metais Pesados em Estação de Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo de Lodos Ativado**. Engenharia & Arquitetura. Caderno de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Carlos - SP, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2000.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Ed. E-papers, 2008.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 284 p, 1984.

GOIÁS (1979). Decreto n.º 1.745 de 06 de dezembro de 1979. **Dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente**. Disponível em: <[http://www.agenciaambiental.go.gov.br/site/principal/index.php?page=legislacao\\_record&vali=1b02fb01778871491b573f435e9c1057&id=4](http://www.agenciaambiental.go.gov.br/site/principal/index.php?page=legislacao_record&vali=1b02fb01778871491b573f435e9c1057&id=4)>. Acesso em: 23/01/2011

GOIÁS (2010). **Secretaria de Planejamento do Estado**. Disponível em: <<http://www.seplan.go.gov.br/>>. Acesso em: Dezembro de 2010.

GOMES, A.D. **Análise técnico-econômica de filtro anaeróbio utilizado para o tratamento de efluente líquidos de uma indústria de laticínios**. Belo Horizonte, 2006. 99p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

IBGE (2011). **Estatística da Produção Pecuária**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao\\_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos\\_201101\\_publ\\_completa.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producao_gropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201101_publ_completa.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2011.



KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. Testes com peixes: Toxicidade aguda letal sobre *Danio rerio*. In: **Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações**. Florianópolis: FATMA: GTZ, 2004. p 84-106.

LABGER (2010). **Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.labger.pro.br/page10.php>> . Acesso em: 19 setembro 2010.

LEITÃO, M. F. F. Limpeza e desinfecção na indústria de alimentos. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 43, setembro, p. 1-35, 1975.

MACHADO, R.M.G., FREIRE, V.H., SILVA P.C. da, FIGUEIREDO, D.V., FERREIRA, P.E. **Controle ambiental em pequenas e médias indústrias de laticínios**, org – Belo Horizonte. Segrac, 2002. 224 p.

MAGALHÃES, D. P.; FERRÃO FILHO, A. S. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**. vol 12, n. 3, p. 355-381. 2008. Disponível em: <<http://www.oecologia.biologia.ufrj.br>> . Acesso em: 6 jul. 2010.

MAGANHA, M.F.B. **Guia técnico ambiental da industria de produtos lácteos**. Sao Paulo: CETESB, 2006.

NIRENBERG, L. P.; FERREIRA, O. M. **Tratamento de águas residuárias de indústria de laticínios: eficiência e análise de modelos matemáticos do projeto da Nestlé**. 18 p. Universidade Católica de Goiás, Departamento de Engenharia, Engenharia Ambiental, Goiânia, GO, 2005.

O<sub>2</sub> Engenharia. **Lodos ativados**. Disponível em: <<http://www.o2engenharia.com.br/esgoto5.html>>. Acesso em: 19 setembro 2010.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo, Nobel, 1987. 466p

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e ocupação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

RIBAS, L. C. M. **Higienização de instalações e equipamentos em indústria de laticínios**. Curitiba, 2008. Monografia (Especialização). Universidade Castelo Branco, UCB, Rio de Janeiro.

SANTOS, M. V.; FONSECA, L.F.L. Microorganismos patogênicos transmitidos pelo leite. In: **Estratégias para o controle de mastite e melhoria da qualidade do leite**. São Paulo, p. 268-277, 2007.

SANTOS, C. **Estatística Descritiva - Manual de Auto-aprendizagem**. Lisboa, Edições Sílabo. 2007.

SASSANO F. **Integração entre os processos foto-químico e biológico no tratamento de efluentes**. São Paulo, 2008. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, USP, São Paulo.

SILVA. P.H.F. Leite: aspectos de composição e propriedades. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 6, p. 3-5,1997.

TAVARES, M. G. O. **Análise físico-química e ecotoxicológica de combustíveis obtidos a partir do craqueamento termo-catalítico de polímeros**. 2008, 84 f. Tese (doutorado) – Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás, 2008.

TRABULSI, L.R.; ALTHERTUM, F. **Microbiologia**. São Paulo: Atheneu, 2005.

VELLOSO, C. R. V. **Elementos de Inspeção Sanitária e Tecnológica de Leite e Produtos Lácteos**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2002. 46p.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: DESA; UFMG, 2005. 452p.

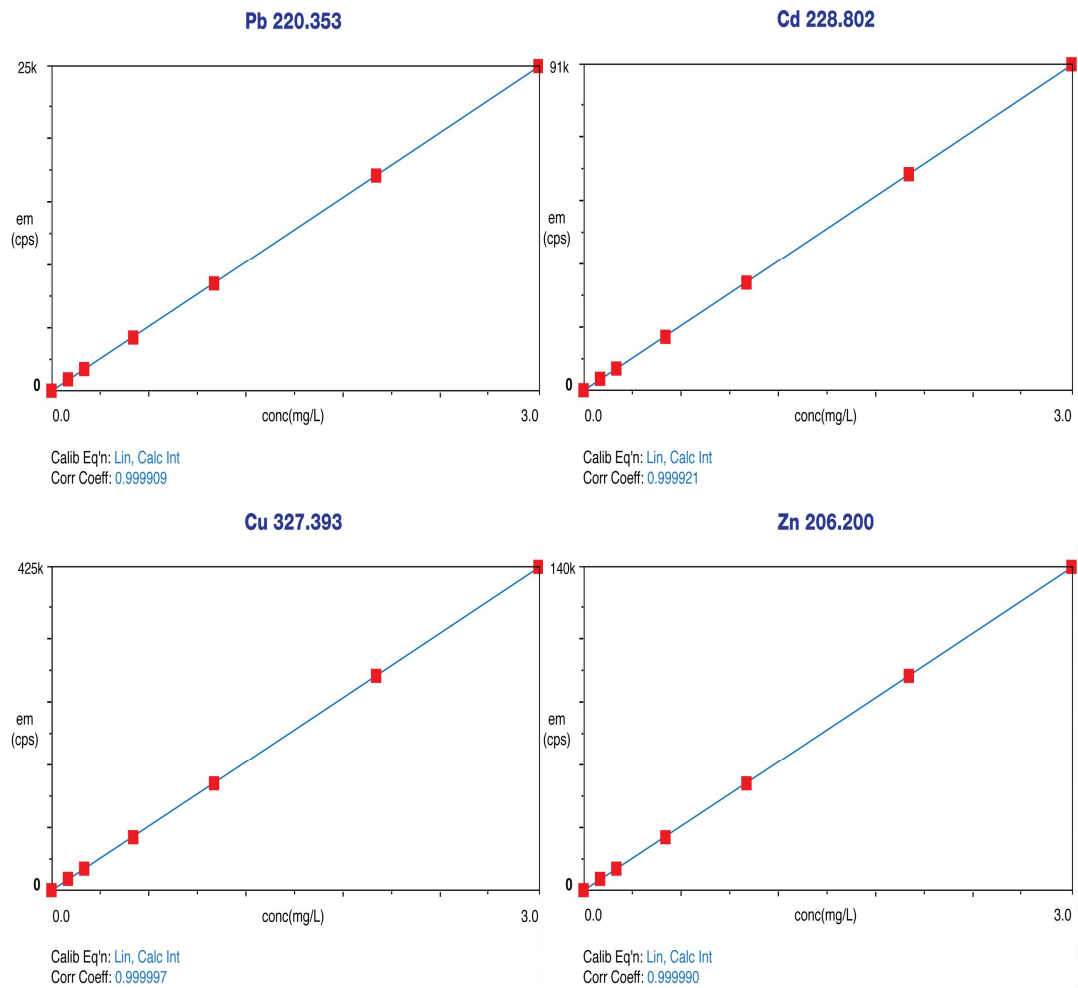
**ANEXO A 6 CURVAS PADRÕES DOS ELEMENTOS**

Figura A1. Curvas-padrão dos metais Pb, Cd, Cu e Zn.

## ANEXO B 6 PORCENTAGEM DA MORTALIDADE DOS PEIXES NOS TESTES PRELIMINARES

Tabela B1. Porcentagem de mortalidade em cada concentração do teste preliminar na data: 05/03/2010.

Teste	Concentrações (%)					
	100	50	25	12,5	6,25	3,125
A	33,33	33,33	0	0	0	0
F	100	100	100	0	0	0

Tabela B2. Porcentagem de mortalidade em cada concentração no teste preliminar na Data: 22/04/2010

Teste	Concentrações (%)					
	100	90	80	70	60	50
A	100	100	100	66,66	33,33	0

Teste	Concentrações (%)					
	25	22,5	20	17,5	15	12,5
F	0	33,33	0	0	0	0

## ANEXO C ó PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS MEDIDOS PARA OS EFLUENTES A, D E F PARA O CÁLCULO DE EFICIÊNCIA

Tabela C1. Parâmetros físico químicos medidos para os efluentes A, D e F, suas médias e seus desvios padrões.

Pontos	DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	DBO (mg.L <sup>-1</sup> )	S.T (mg.L <sup>-1</sup> )	O.G (mg.L <sup>-1</sup> )	pH	Turbidez (NTU)	TDS (mg.L <sup>-1</sup> )	Sal	Cond. (µS.cm <sup>3</sup> )	O.D (mg.L <sup>-1</sup> )	Temp. (°C)
A	4083,32	5655,17	2687	55,0	6,28	640	629	0,0	648	4,9	25,3
	4313,72	878,57	2160	40,8	3,80	669	1258	0,4	1262	0,7	27,8
	1561,60	750,10	2425	45,8	3,90	193	2374	1,1	2160	4,4	27,3
	666,65	444,44	1906	78,8	3,20	811	2622	1,5	2890	5,4	24,5
<b>Média</b>	2656,32	1932,07	2295	55,1	4,30	578	1720	0,8	1740	3,9	26,2
<b>s (±)*</b>	1820,30	2488,74	337	16,9	1,36	267	939	0,7	987	2,1	1,6
<b>CV (%)</b>	69	129	15	31	32	46	55	90	57	56	6
D	3965,51	1523,17	3658	35,0	3,64	186	2038	0,8	2050	0,5	24,3
	20000,00	1190,00	10898	63,7	1,98	1173	3116	2,1	4060	0,4	31,2
	21000,00	1350,15	32783	192,8	3,40	1231	6868	3,0	5310	0,8	28
	7332,20	4074,07	8535	37,1	2,50	1131	1956	1,1	2280	1,2	24
<b>Média</b>	13074,43	2034,35	13961	82,2	2,88	930	3495	1,8	3425	0,7	26,9
<b>s (±)</b>	8693,37	1366,60	12900	74,9	0,78	498	2310	1,0	1545	0,4	3,4
<b>CV (%)</b>	66	67	92	91	27	54	66	57	45	50	13
F	7583,32	5696,20	6118	43,0	2,66	172	3210	1,2	3380	1,4	24,6
	19607,84	3540,00	8656	82,6	2,96	1190	6528	3,6	6610	1,0	29,0
	21472,00	4010,05	15579	206,0	3,70	953	6184	3,3	5910	2,4	28,0
	7999,98	3053,33	7739	150,0	3,65	600	1785	0,7	1798	0,5	28,4
<b>Média</b>	14165,79	4074,90	9,523	120,4	3,24	729	4427	2,2	4425	1,3	27,5
<b>s (±)</b>	7401,41	1149,28	4171	72,2	0,51	443	2307	1,5	2234	0,8	2,0
<b>CV (%)</b>	52	28	44	60	16	61	52	66	50	61	7

\*s: desvio padrão; CV: coeficiente de variação.

## ANEXO D 6 CONCENTRAÇÃO DOS METAIS Zn, Cu, Cd E Pb NOS EFLUENTES A, D E F

Tabela D1. Concentração dos metais Cd, Pb, Cu e Zn nos efluentes do ponto A, D e F, o seu valor médio e seu desvio padrão.

Letra	Metais	Concentração (mg.L <sup>-1</sup> )				Média	s*	LD	LQ
A	Cd	0,005	0,004	0,006	-0,005	0,005	± 0,002 <sub>5</sub>	0,001	0,005
	Pb	0,036	0,039	0,037	0,037	0,037	± 0,028 <sub>5</sub>	0,008	0,027
	Cu	0,033	0,891	0,896	0,017	0,459	± 0,756 <sub>0</sub>	0,002	0,007
	Zn	0,132	0,301	0,437	0,214	0,271	± 0,254 <sub>9</sub>	0,002	0,006
D	Cd	0,007	0,005	0,003	-0,005	0,005	± 0,002 <sub>1</sub>	0,001	0,005
	Pb	0,020	0,032	0,040	0,043	0,034	± 0,034 <sub>2</sub>	0,008	0,027
	Cu	0,835	0,012	0,011	0,008	0,217	± 0,613 <sub>0</sub>	0,002	0,007
	Zn	0,145	0,282	0,298	0,214	0,235	± 0,242 <sub>1</sub>	0,002	0,006
F	Cd	0,006	0,004	0,004	-0,004	0,005	± 0,001 <sub>8</sub>	0,001	0,005
	Pb	0,026	0,024	0,030	0,039	0,029	± 0,023 <sub>1</sub>	0,008	0,027
	Cu	0,736	0,006	0,009	0,012	0,191	± 0,542 <sub>2</sub>	0,002	0,007
	Zn	0,232	0,253	0,347	0,148	0,245	± 0,143 <sub>1</sub>	0,002	0,006

\*s = desvio padrão

## ANEXO E 6 CÁLCULO DA RELAÇÃO DBO/DQO PARA OS EFLUENTES A, D E F

Tabela E1. Planilha de cálculos contendo os valores das concentrações de DBO e DQO do efluente no ponto A. Valores utilizados para a determinação das concentrações médias de DBO e DQO, relação DBO/DQO e o desvio padrão desta relação.

n	DBO	DQO	$X_i =$ DBO/DQO	$d =$ $x_i - x_m$	$X_i^2$	V	s
1	5655,17	4083,32	1,384	0,7010	0,4915	0,255	0,505
2	878,57	4313,72	0,204	-0,4802	0,2306		
3	750,10	1561,60	0,480	-0,2036	0,0414		
4	444,44	666,65	0,667	-0,0172	0,0003		
<b>Média</b>	1932,07	2656,32	0,684				

\*n= amostra; |d| = módulo do desvio;  $X_i^2$  = desvio ao quadrado;  
V = Variância; s = desvio padrão.

Tabela E2. Planilha de cálculos contendo os valores das concentrações de DBO e DQO do efluente no ponto D. Valores utilizados para a determinação das concentrações médias de DBO e DQO, relação DBO/DQO e o desvio padrão desta relação.

n	DBO	DQO	$X_i =$ DBO/DQO	$d =$ $x_i - x_m$	$X_i^2$	V	s
1	1523,17	3965,51	0,384	0,1182	0,0140	0,060	0,246
2	1190,00	20000,00	0,060	-0,2064	0,0426		
3	1350,15	21000,00	0,064	-0,2016	0,0406		
4	4074,07	7332,20	0,555	0,2898	0,0840		
<b>Média</b>	2034,35	13074,43	0,266				

\*n= amostra; |d| = módulo do desvio;  $X_i^2$  = desvio ao quadrado;  
V = Variância; s = desvio padrão.

Tabela E3. Planilha de cálculos contendo os valores das concentrações de DBO e DQO do efluente no ponto F. Valores utilizados para a determinação das concentrações médias de DBO e DQO, relação DBO/DQO e o desvio padrão desta relação.

n	DBO	DQO	$X_i =$ DBO/DQO	$d =$ $x_i - x_m$	$X_i^2$	V	s
1	5696,20	7583,32	0,751	0,3761	0,1415	0,072	0,268
2	3540,00	19607,84	0,181	-0,1945	0,0378		
3	4010,05	21472,00	0,187	-0,1883	0,0354		
4	3053,33	7999,98	0,382	0,0066	0,00004		
<b>Média</b>	4074,90	14165,79	0,375				

\*n= amostra; |d| = módulo do desvio;  $X_i^2$  = desvio ao quadrado;  
V = Variância; s = desvio padrão.



## ANEXO F 6 OUTPUT DA ANÁLISE DE PCA PARA TODOS OS TESTES DE TOXICIDADE

### • Teste A<sub>1</sub>

Tabela F1. Estatística descritiva teste A<sup>1</sup>

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Nº de análises
TDS	421,262	122,5143	21
pH	7,3440	,25878	21
Turbidez	102,1190	78,03523	21
OD	3,3381	1,79680	21
Condutividade	412,4048	114,56435	21
Temperatura	23,705	,7466	21
Dureza	113,48	32,104	21
Concentração	48,57	26,084	21

Tabela F2. Matriz de correlação das variáveis no teste A<sup>1</sup>

		Matriz de Correlação <sup>a</sup>							
		TDS	pH	Turbidez	OD	Cond.	Temp.	Dureza	Conc.
Correlação	Concentração	1,000	-,602	,638	-,445	,995	-,012	,928	,992
	TDS	-,602	1,000	-,603	,534	-,570	,526	-,664	-,606
	pH	,638	-,603	1,000	-,035	,621	-,355	,823	,702
	Turbidez	-,445	,534	-,035	1,000	-,410	,413	-,347	-,370
	OD	,995	-,570	,621	-,410	1,000	,038	,915	,993
	Condutividade	-,012	,526	-,355	,413	,038	1,000	-,207	-,017
	Temperatura	,928	-,664	,823	-,347	,915	-,207	1,000	,948
	Dureza	,992	-,606	,702	-,370	,993	-,017	,948	1,000
	Concentração		,002	,001	,022	,000	,479	,000	,000
p-valor teste unilateral	TDS	,002		,002	,006	,003	,007	,001	,002
	pH	,001	,002		,441	,001	,057	,000	,000
	Turbidez	,022	,006	,441		,032	,031	,061	,050
	OD	,000	,003	,001	,032		,436	,000	,000
	Condutividade	,479	,007	,057	,031	,436		,184	,471
	Temperatura	,000	,001	,000	,061	,000	,184		,000
	Dureza	,000	,002	,000	,050	,000	,471	,000	

a. Determinante da matriz = 8,46E-009

Tabela F3. KMO e teste de Bartlett's para o teste A'

<b>KMO e Teste de Bartlett</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin para a adequação da amostra		,639
Esfericidade do Teste de Bartlett	Qui-quadrado aprox.	306,708
	Graus de liberdade	28,000
	Significância	,000

Tabela F4. Variância total extraída e os autovalores para o teste A'

Componente	Autovalores		
	Total	% de Variância	% Acumulada
1	5,160	64,501	64,501
2	1,493	18,659	83,160
3	,938	11,725	94,885
4	,269	3,368	98,253
5	,101	1,269	99,521
6	,034	,423	99,944
7	,004	,052	99,996
8	,000	,004	100,000

Método de extração: Análise de Componentes Principais.

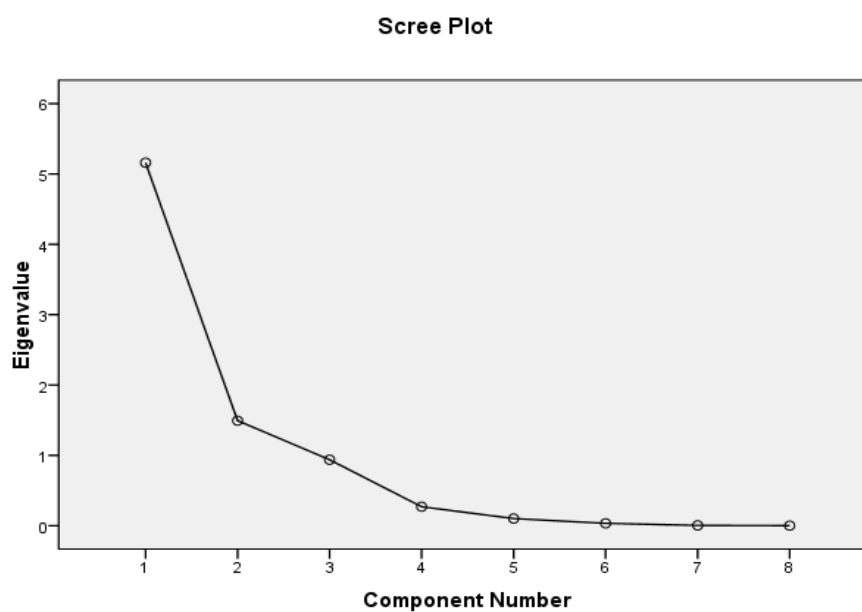


Figura F1. Gráfico dos autovalores do teste A'

• Teste A<sub>2</sub>

Tabela F5. Estatística descritiva teste A”

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Nº de análises
Concentração	37,7679	37,92549	21
TDS	234,881	104,8704	21
pH	6,9176	,59030	21
Turbidez	157,3921	196,75832	21
OD	2,9667	1,85724	21
Condutividade	232,5262	103,51942	21
Temperatura	24,555	,2514	21

Tabela F6. Matriz de correlação das variáveis no teste A”

		Matriz de Correlação <sup>a</sup>						
		Conc.	TDS	pH	Turbidez	OD	Cond.	Temp.
Correlação	Concentração	1,000	,997	-,790	,896	-,989	,998	-,292
	TDS	,997	1,000	-,775	,879	-,987	1,000	-,286
	pH	-,790	-,775	1,000	-,903	,783	-,775	,241
	Turbidez	,896	,879	-,903	1,000	-,872	,879	-,298
	OD	-,989	-,987	,783	-,872	1,000	-,987	,271
	Condutividade	,998	1,000	-,775	,879	-,987	1,000	-,278
	Temperatura	-,292	-,286	,241	-,298	,271	-,278	1,000
p-valor teste unilateral	Concentração		,000	,000	,000	,000	,000	,099
	TDS		,000	,000	,000	,000	,000	,104
	pH		,000	,000	,000	,000	,000	,146
	Turbidez		,000	,000	,000	,000	,000	,095
	OD		,000	,000	,000	,000	,000	,117
	Condutividade		,000	,000	,000	,000	,000	,111
	Temperatura		,099	,104	,146	,095	,117	,111

a. Determinante da matriz = 8,87E-011

Tabela F7. KMO e teste de Bartlett's para o teste A"

<b>KMO e Teste de Bartlett</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin para a adequação da amostra		,750
Esfericidade do Teste de Bartlett	Qui-quadrado aprox.	389,612
	Graus de liberdade	21,000
	Significância	,000

Tabela F8. Variância total extraída e os eigenvalues para o teste A"

<b>Componente</b>	<b>Autovalores</b>		
	<b>Total</b>	<b>% de Variância</b>	<b>% Acumulada</b>
1	5,614	80,203	80,203
2	,901	12,865	93,069
3	,392	5,597	98,665
4	,075	1,071	99,736
5	,016	,235	99,971
6	,002	,029	100,000
7	1,796E-5	,000	100,000

Método de extração: Análise de Componentes Principais.

Scree Plot

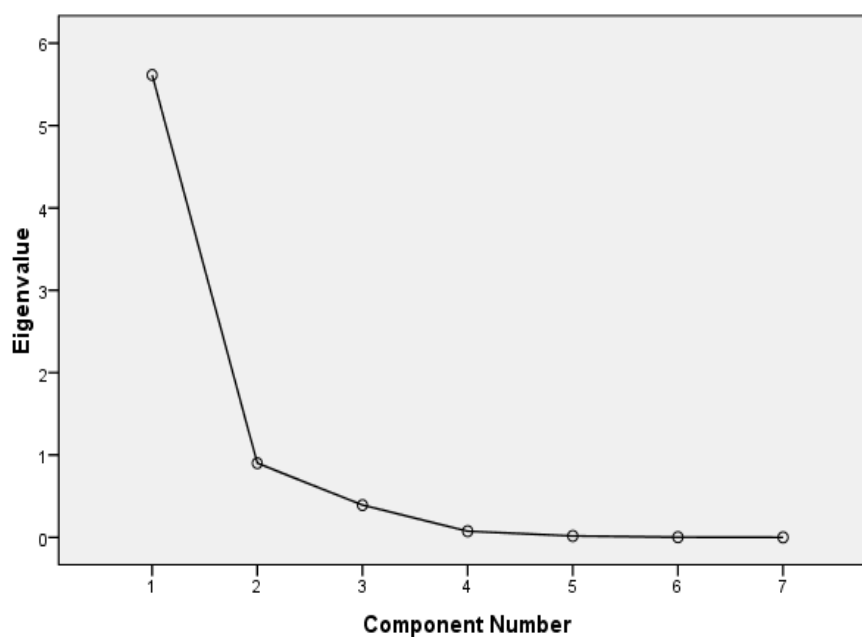


Figura F2. Gráfico dos autovalores do teste A"

• Teste D<sub>1</sub>

Tabela F9. Estatística descritiva teste D'

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Nº de análises
Concentração	39,29	22,321	21
TDS	1002,524	460,5111	21
pH	7,0890	,39598	21
Turbidez	174,8095	166,12995	21
OD	2,1619	1,81947	21
Condutividade	929,9381	425,02223	21
Temperatura	21,233	1,1119	21
Dureza	71,81	10,235	21
Sal	,290	,2095	21

Tabela F10. Matriz de correlação das variáveis no teste D'

		Matriz de Correlação <sup>a</sup>									
		Conc.	TDS	pH	Turbidez	OD	Cond.	Temp.	Dureza	Sal	
Correlação	Concentração	1,000	,997	-,350	,561	-,409	,997	-,350	,923	,971	
	TDS	,997	1,000	-,371	,570	-,402	,997	-,369	,920	,972	
	pH	-,350	-,371	1,000	,067	,496	-,390	-,161	-,262	-,379	
	Turbidez	,561	,570	,067	1,000	,402	,514	-,940	,494	,559	
	OD	-,409	-,402	,496	,402	1,000	-,457	-,612	-,393	-,326	
	Condutividade	,997	,997	-,390	,514	-,457	1,000	-,305	,922	,971	
	Temperatura	-,350	-,369	-,161	-,940	-,612	-,305	1,000	-,283	-,361	
	Dureza	,923	,920	-,262	,494	-,393	,922	-,283	1,000	,908	
	Sal	,971	,972	-,379	,559	-,326	,971	-,361	,908	1,000	
	p-valor teste unilateral	Concentração		,000	,060	,004	,033	,000	,060	,000	,000
TDS		,000		,049	,004	,035	,000	,050	,000	,000	
pH		,060	,049		,386	,011	,040	,243	,126	,045	
Turbidez		,004	,004	,386		,035	,009	,000	,011	,004	
OD		,033	,035	,011	,035		,019	,002	,039	,074	
Condutividade		,000	,000	,040	,009	,019		,090	,000	,000	
Temperatura		,060	,050	,243	,000	,002	,090		,107	,054	
Dureza		,000	,000	,126	,011	,039	,000	,107		,000	
Sal		,000	,000	,045	,004	,074	,000	,054	,000		

a. Determinante = 2,47E-011

Tabela F11. KMO e teste de Bartlett's para o teste D'

<b>KMO e Teste de Bartlett</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin para a adequação da amostra		,644
Esfericidade do Teste de Bartlett	Qui-quadrado aprox.	394,832
	Graus de liberdade	36,000
	Significância	,000

Tabela F12. Variância total extraída e os autovalores para o teste D'

<b>Componente</b>	<b>Autovalores</b>		
	<b>Total</b>	<b>% de Variância</b>	<b>% Acumulada</b>
1	5,604	62,262	62,262
2	2,397	26,632	88,894
3	,688	7,647	96,542
4	,162	1,804	98,346
5	,101	1,123	99,468
6	,032	,357	99,825
7	,014	,155	99,981
8	,001	,017	99,997
9	,000	,003	100,000

Método de extração: Análise de Componentes Principais.

Scree Plot

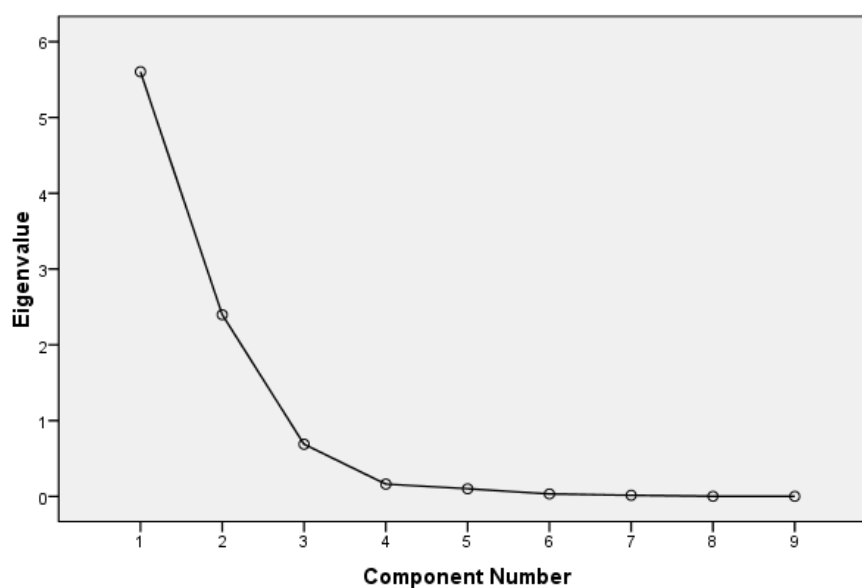


Figura F3. Gráfico dos autovalores do teste D'

• **Teste D<sub>2</sub>**

Tabela F13. Estatística descritiva teste D''

<b>Parâmetros</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Nº de análises</b>
Concentração	37,7679	37,92549	21
TDS	2463,810	2274,0006	21
pH	6,7869	,93398	21
Turbidez	324,1564	338,03414	21
OD	2,2743	1,91234	21
Condutividade	2507,6595	2348,33044	21
Temperatura	25,310	,8154	21
Sal	1,110	1,5179	21

Tabela F14. Matriz de correlação das variáveis no teste D''

		<b>Matriz de Correlação<sup>a</sup></b>							
		Conc.	TDS	pH	Turbidez	OD	Cond.	Temp.	Sal
Correlação	Concentração	1,000	,983	-,781	,931	-,624	,982	,940	,775
	TDS	,983	1,000	-,704	,958	-,582	,998	,906	,867
	pH	-,781	-,704	1,000	-,610	,752	-,693	-,832	-,307
	Turbidez	,931	,958	-,610	1,000	-,443	,958	,847	,896
	OD	-,624	-,582	,752	-,443	1,000	-,574	-,632	-,276
	Condutividade	,982	,998	-,693	,958	-,574	1,000	,903	,870
	Temperatura	,940	,906	-,832	,847	-,632	,903	1,000	,656
	Sal	,775	,867	-,307	,896	-,276	,870	,656	1,000
p-valor teste unilateral	Concentração	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,000
	TDS	,000	,000	,000	,000	,003	,000	,000	,000
	pH	,000	,000	,000	,002	,000	,000	,000	,088
	Turbidez	,000	,000	,002	,000	,022	,000	,000	,000
	OD	,001	,003	,000	,022	,003	,003	,001	,113
	Condutividade	,000	,000	,000	,000	,003	,000	,000	,000
	Temperatura	,000	,000	,000	,000	,001	,000	,000	,001
	Sal	,000	,000	,088	,000	,113	,000	,001	

a. Determinante da matriz = 1,62E-009

Tabela F15. KMO e teste de Bartlett's para o teste D''

<b>KMO e Teste de Bartlett</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin para a adequação da amostra		,835
Esfericidade do Teste de Bartlett	Qui-quadrado aprox.	333,939
	Graus de liberdade	28,000
	Significância	,000

Tabela F16. Variância total extraída e os autovalores para o teste D''

<b>Componente</b>	<b>Autovalores</b>		
	<b>Total</b>	<b>% de Variância</b>	<b>% Acumulada</b>
1	6,417	80,210	80,210
2	1,101	13,764	93,973
3	,313	3,919	97,892
4	,080	,996	98,888
5	,046	,577	99,466
6	,038	,475	99,940
7	,003	,039	99,979
8	,002	,021	100,000

Método de extração: Análise de Componentes Principais.

Scree Plot

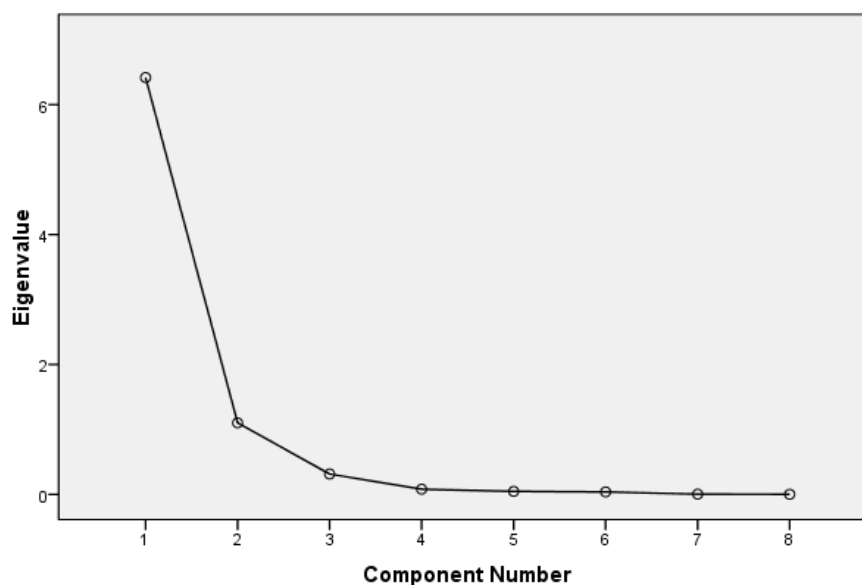


Figura F4. Gráfico dos autovalores do teste D''



• Teste F<sub>1</sub>

Tabela F17. Estatística descritiva teste F'

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Nº de análises
Concentração	26,786	15,0446	21
TDS	1831,810	896,1832	21
pH	7,6576	,22774	21
Turbidez	87,3571	56,91532	21
OD	2,3548	2,17921	21
Condutividade	1853,9690	930,14551	21
Temperatura	24,936	1,4297	21
Dureza	116,14	30,274	21
Sal	,679	,3583	21

Tabela F18. Matriz de correlação das variáveis no teste F'

		Matriz de Correlação <sup>a</sup>								
		Conc.	TDS	pH	Turbidez	OD	Cond.	Temp.	Dureza	Sal
Correlação	Concentração	1,000	,998	-,072	,921	-,331	,994	,547	,965	,986
	TDS	,998	1,000	-,071	,927	-,306	,998	,571	,970	,990
	pH	-,072	-,071	1,000	,031	-,348	-,063	,118	-,042	-,130
	Turbidez	,921	,927	,031	1,000	-,174	,936	,645	,868	,888
	OD	-,331	-,306	-,348	-,174	1,000	-,260	,406	-,370	-,314
	Condutividade	,994	,998	-,063	,936	-,260	1,000	,616	,962	,985
	Temperatura	,547	,571	,118	,645	,406	,616	1,000	,490	,531
	Dureza	,965	,970	-,042	,868	-,370	,962	,490	1,000	,977
p-valor teste unilateral	Sal	,986	,990	-,130	,888	-,314	,985	,531	,977	1,000
	Concentração		,000	,378	,000	,072	,000	,005	,000	,000
	TDS	,000		,380	,000	,089	,000	,003	,000	,000
	pH	,378	,380		,447	,061	,394	,306	,428	,288
	Turbidez	,000	,000	,447		,226	,000	,001	,000	,000
	OD	,072	,089	,061	,226		,128	,034	,049	,083
	Condutividade	,000	,000	,394	,000	,128		,001	,000	,000
	Temperatura	,005	,003	,306	,001	,034	,001		,012	,007
	Dureza	,000	,000	,428	,000	,049	,000	,012		,000
	Sal	,000	,000	,288	,000	,083	,000	,007	,000	

a. Determinante da matriz = 6,03E-012

Tabela F19. KMO e teste de Bartlett's para o teste F'

<b>KMO e Teste de Bartlett</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin para a adequação da amostra		,796
Esfericidade do Teste de Bartlett	Qui-quadrado aprox.	417,655
	Graus de liberdade	36,000
	Significância	,000

Tabela F20. Variância total extraída e os autovalores para o teste F'

<b>Componente</b>	<b>Autovalores</b>		
	<b>Total</b>	<b>% de Variância</b>	<b>% Acumulada</b>
1	6,231	69,238	69,238
2	1,488	16,530	85,768
3	1,060	11,775	97,542
4	,125	1,384	98,927
5	,063	,704	99,631
6	,023	,261	99,892
7	,008	,091	99,983
8	,001	,013	99,996

Método de extração: Análise de Componentes Principais.

Scree Plot

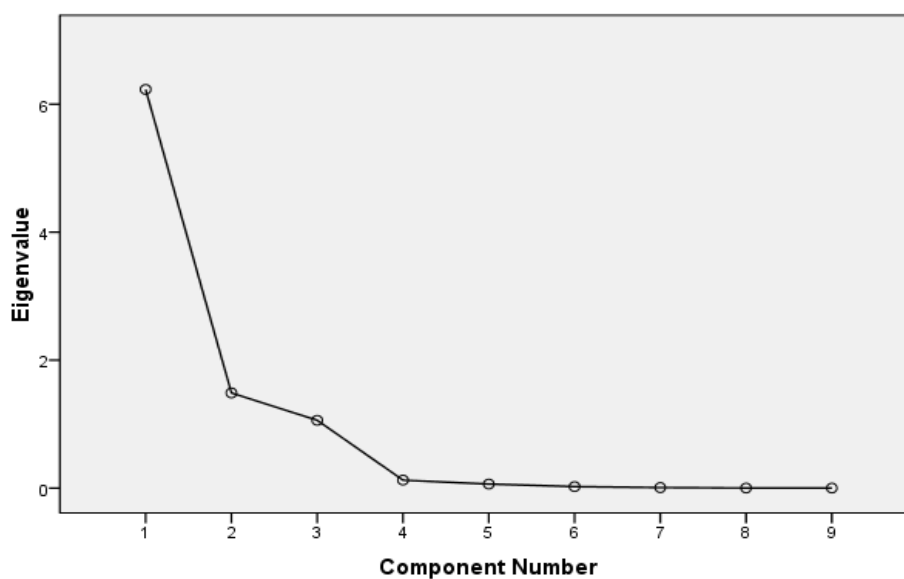


Figura F5. Gráfico dos autovalores do teste F'

- Teste F<sub>2</sub>

Tabela F21. Estatística descritiva teste F''

Parâmetros	Média	Desvio padrão	Nº de análises
TDS	1532,810	1565,7085	21
pH	8,0769	,27359	21
Turbidez	171,6412	210,45809	21
OD	2,9638	2,08845	21
Condutividade	1543,6333	1574,16322	21
Temperatura	25,190	,7160	21
Sal	,495	,6227	21
Concentração	29,9107	33,73338	21

Tabela F22. Matriz de correlação das variáveis no teste F''

		Matriz de Correlação <sup>a</sup>							
		TDS	pH	Turbidez	OD	Cond.	Temp.	Sal	Conc.
Correlação	TDS	1,000	,434	,890	-,486	,997	,677	,971	,978
	pH	,434	1,000	,619	,004	,428	,186	,466	,451
	Turbidez	,890	,619	1,000	-,178	,870	,539	,935	,874
	OD	-,486	,004	-,178	1,000	-,510	-,461	-,389	-,529
	Condutividade	,997	,428	,870	-,510	1,000	,707	,954	,986
	Temperatura	,677	,186	,539	-,461	,707	1,000	,549	,779
	Sal	,971	,466	,935	-,389	,954	,549	1,000	,925
	Concentração	,978	,451	,874	-,529	,986	,779	,925	1,000
p-valor teste unilateral	TDS		,025	,000	,013	,000	,000	,000	,000
	pH	,025		,001	,493	,026	,210	,017	,020
	Turbidez	,000	,001		,220	,000	,006	,000	,000
	OD	,013	,493	,220		,009	,018	,041	,007
	Condutividade	,000	,026	,000	,009		,000	,000	,000
	Temperatura	,000	,210	,006	,018	,000		,005	,000
	Sal	,000	,017	,000	,041	,000	,005		,000
	Concentração	,000	,020	,000	,007	,000	,000	,000	

a. Determinante da matriz = 1,67E-009

Tabela F23. KMO e teste de Bartlett's para o teste F"

<b>KMO e Teste de Bartlett</b>		
Kaiser-Meyer-Olkin para a adequação da amostra		,585
Esfericidade do Teste de Bartlett	Qui-quadrado aprox.	333,505
	Graus de liberdade	28,000
	Significância	,000

Tabela F24. Variância total extraída e os autovalores para o teste F"

Componente	Autovalores		
	Total	% de Variância	% Acumulada
1	5,725	71,562	71,562
2	1,199	14,987	86,548
3	,536	6,695	93,243
4	,458	5,720	98,963
5	,062	,780	99,743
6	,017	,212	99,955
7	,003	,042	99,996
8	,000	,004	100,000

Método de extração: Análise de Componentes Principais.

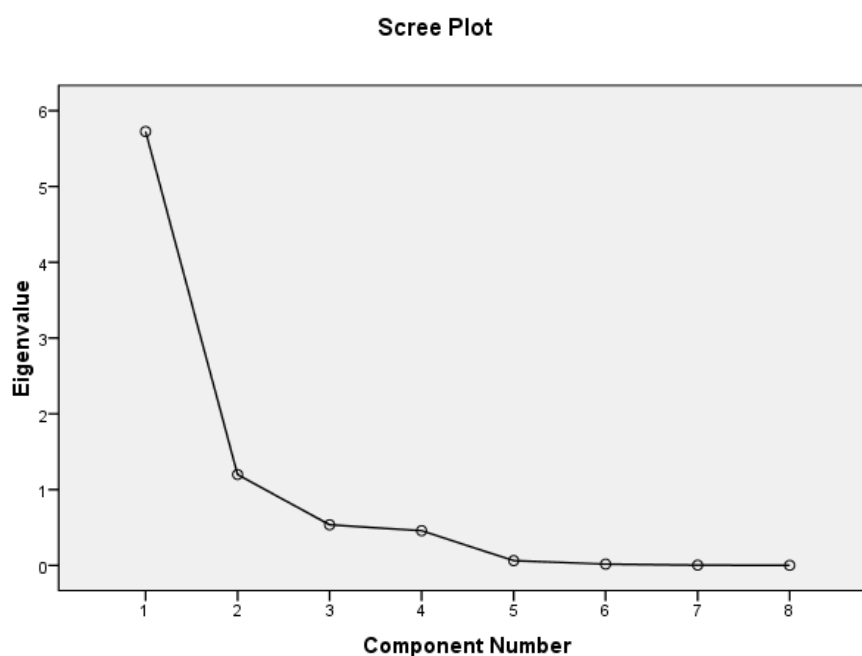


Figura F6. Gráfico dos autovalores do teste F"

## 8. CURRICULUM VITAE

Victor Vinicius Batista Machado, nascido em 09/02/1987, na cidade de Goianápolis – GO é Licenciado em Química pela Universidade Estadual de Goiás, tendo adquirido o título em 2007.

Em 2008 foi admitido no Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Química da Universidade Federal de Goiás como bolsista CNPq.

Em 2010, participou do Seminário de Pesquisa e Pós-graduação, apresentando oralmente parte do trabalho de mestrado, como parte das atividades do VII CONPEEX.