

RESSALVA

Atendendo solicitação da autora,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir
de 26/10/2020



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Câmpus de São José do Rio Preto

MARIANA MOLINA QUINTERO

**TRATAMENTO BIOLÓGICO DE SORO DE QUEIJO UTILIZANDO UM
SISTEMA FERMENTATIVO CONCOMITANTE COM DIGESTÃO
ANAERÓBIA**

São José do Rio Preto

2019

MARIANA MOLINA QUINTERO

**TRATAMENTO BIOLÓGICO DE SORO DE QUEIJO UTILIZANDO UM
SISTEMA FERMENTATIVO CONCOMITANTE COM DIGESTÃO
ANAERÓBIA**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração – Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

Orientador: Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi
Coorientador: Prof. Dr. Denis Cantú Lozano

São José do Rio Preto - SP

2019

Q7t

Quintero, Mariana Molina

Tratamento biológico de soro de queijo utilizando um sistema fermentativo concomitante com digestão anaeróbia / Mariana Molina Quintero. -- São José do Rio Preto, 2019

120 f. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto

Orientador: Vanildo Luiz Del Bianchi

Coorientador: Denis Cantú Lozano

1. Tratamento de efluentes. 2. Digestão anaeróbia. 3. Soro de queijo. 4. *kluveromyces marxianus*. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

MARIANA MOLINA QUINTERO

**TRATAMENTO BIOLÓGICO DE SORO DE QUEIJO UTILIZANDO UM
SISTEMA FERMENTATIVO CONCOMITANTE COM DIGESTÃO
ANAERÓBIA**

Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração – Engenharia de Alimentos, do Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de São José do Rio Preto.

Financiadora: CAPES

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi

UNESP – São José do Rio Preto -SP

Orientador

Prof^a. Dr^a Gisele Ferreira Bueno

UpScience Labs Solutions – Hortolândia – SP

Prof^a. Dr^a Gleyce Teixeira Correia

Fundação Educacional de Fernandópolis

Fernandópolis – SP

Prof. Dr. Gustavo O. Bonilla Rodriguez

UNESP – São José do Rio Preto -SP

Prof^a. Dr^a Valdenia Cristina Mendes Mendonça

Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Maranhão

IFMA – São Luís – MA

Pro. Dr. Denis Cantú Lozano

Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Orizaba-México

Co-orientador (Convidado)

São José do Rio Preto

26 de abril de 2019

*A minha mãe Ana Maria Quintero Hernández,
o motivo por eu estar aqui, dedico com amor este trabalho.*

*A mi mamá Ana Maria Quintero Hernández,
el motivo por estar aquí, dedico con amor este trabajo.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a minha mãe por ter acreditado em mim mesmo com tendo todas as dificuldades e sobre tudo com a distancia, você sempre me apoiou, você é minha força, minha base, meu motivo para seguir em pé, porque, mesmo com tudo contra, com você do meu lado nada é impossível; te amo mãe;

Agradeço a minha família: minha avó Lulu, minhas tias Monica, Yolanda, Violeta, Rufina, meus tios: Alejandro e Felipe, meus primos: Cristian, Israel, Samuel, Benjamin, Miranda, Alex, Alexandra, pelo carinho e apoio;

Ao Arturo agradeço infinitamente por ficar do meu lado e vir até aqui procurando nossos sonhos, obrigada pelas “gambiaras”, conselhos (alguns desnecessários), paciência, apoio, etc., etc,... obrigada;

Ao meu orientador Prof. Dr. Vanildo Luiz Del Bianchi, que mesmo ele não goste de ser chamado de Dr, ele é um doutor da vida, sempre resolvendo os problemas acadêmicos e não tão acadêmicos dos seus orientados. Não tenho palavras para agradecer a confiança, o conhecimento e os conselhos que me fizeram crescer como pessoa e como profissional;

A meus amigos e agora família brasileira: Guilherme, Samara, Mariana Oliveira, Raphael, Jorge, Valdenia, Ariane, Gisele, Wellington, Elisa, Tiago, Larissa, Renato, Ingrid, Raul. Meus amigos estrangeiros: Alba, David, Quinten, Angelica Otero, Camila, Ariel, Ezequiel, Ana Maria, Rina, Luisa;

A meus amigos mexicanos: Alejandra Urias, Alejandra Escartin, Etna, Marlene, Guillermo, Enrique, Francisco;

Ao Prof. Dr. Denis Cantú Lozano pelo conhecimento e principalmente por mostrar o caminho além do México.

A Prof. Dra. Giovana Tommaso Monzani pela matéria-prima e reator emprestado.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, por proporcionar condições para a realização deste trabalho;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pelo auxílio financeiro por meio de bolsa concedida;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001^{*}, à qual agradeço,

A todos membros da banca que aceitaram gentilmente participar deste momento, e por suas sugestões que foram muito bem-vindas;

A todos que de uma certa maneira participaram desta conquista.

RESUMO

A digestão anaeróbia é empregada para o tratamento de poluentes orgânicos mediante a biodegradabilidade para a geração de biogás e economia de recursos. Por outro lado, o processo de fermentação com uso de leveduras tem sido muito estudado para a geração de álcool e biomassa, sem considerar que durante o mesmo as leveduras também realizam a degradação da matéria orgânica. A junção de ambos processos (fermentação - digestão anaeróbia) possibilitará obter remoções a partir de altas concentrações de substrato. O presente projeto é baseado no tratamento de efluentes da indústria de laticínios com a combinação do processo fermentativo da levedura *Kluyveromyces marxianus* e a digestão anaeróbia por manta de lodo. Fez-se um teste parcial de atividade lipolítica para a produção de lipase com a finalidade de degradar a fase lipídica formada pela gordura dos laticínios no reator anaeróbio compartimentado-RAC. Para o tratamento com levedura foi utilizado um reator de bolhas e um reator aeróbio-anaeróbio compartimentado – RAAC, com volume total de 3,8 L, com conexão a um sedimentador de 2 L com tempo de retenção hidráulico - TRH de 1 dia. Para o tratamento com digestão anaeróbia, foi usado um RAC de 35,7 L e um RAC de 5 L, sendo este último usado para os ensaios nos sistemas concomitantes. Os resultados parciais da atividade lipolítica obtiveram até $4,55 \mu\text{mol.mL}^{-1}$. Obteve-se uma remoção de 98% com uma alimentação de entrada de $9.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$ para o RAAC. No reator de bolhas a remoção foi de 63,3% para a concentração de $3.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$. O RAC de 5 L do sistema integrado alcançou uma remoção de 89,9%. Para o tratamento anaeróbio, os resultados dos 2 ensaios no RAC de 5 L foram de 10,5% no ensaio 1 e 71% no ensaio 2. A maior remoção obtida no RAC de 35,7 L foi para $1.190 \text{ mg DQO.L}^{-1}$ com remoção de 90,8% de DQO.

Palavras-chave: Soro de queijo, digestão anaeróbia, tratamento de efluentes, *Kluyveromyces marxianus*, bioreatores

ABSTRACT

*Anaerobic digestion is used for the treatment of organic pollutants through biodegradability for generation of biogas and resource savings. On the other hand, yeast fermentation process has been studied for generation of alcohol and biomass, without consider that, during the same yeasts also carry out the degradation of organic matter. The combination of both processes (fermentation - anaerobic digestion) will allow to obtain removals from high substrate concentrations. The present project was based on treatment of effluents from dairy industry with combination of the fermentative process of yeast *Kluyveromyces marxianus* and anaerobic digestion by sludge blanket. A partial lipolytic activity test was performed for lipase production in order to degrade the lipid phase formed by milk fat in the compartmentalized anaerobic reactor-CAR. For yeast treatment, a blast reactor and a compartmentalized aerobic-anaerobic reactor - CAAR, with a total volume of 3.8 L were used, with connection to a 2 L settler with hydraulic retention time - HRT of 1 day. For treatment with anaerobic digestion, a CAR of 35.7 L and a CAR of 5 L was used, latter being used for assays in concomitant systems. The partial results of lipolytic activity obtained up to $4.55 \mu\text{mol.mL}^{-1}$. A 98% removal was achieved with an inlet feed of $9,000 \text{ mg COD.L}^{-1}$ for CAAR. In bubble reactor, removal was 63.3% for concentration of $3,000 \text{ mg COD.L}^{-1}$. The CAR of 5 L of integrated system achieved a 89.9% removal. For anaerobic treatment, the results of 2 trials in the 5 L RAC were 10.5% in assay 1 and 71% in assay 2. The highest removal obtained in RAC of 35.7 L was $1,190 \text{ mg COD. L}^{-1}$ with removal of 90.8% COD.*

Key words: *Cheese whey, anaerobic digestion, effluent treatment, *Kluyveromyces marxianus*, bioreactor.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reator anaeróbio compartimentado	43
Figura 2. Reator aeróbio-anaeróbio compartimentado – RAAC	73
Figura 3. Reator de coluna de bolhas ^a , sedimentador ^b , reator anaeróbio compartimentado - RAC ^c	86
Figura 4. Sedimentador vertical	93
Figura 5. Resultado de DQO do ensaio 1 para o sistema concomitante com $S_0 = 28.100 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	98
Figura 6. Ensaio 1b do sistema concomitante com $S_0 = 28.100 \text{ mg DQO.L}^{-1}$ na entrada do fermentador e amostragem sem centrifugar	99
Figura 7. Resultado de DQO do ensaio 2 para o sistema concomitante com $S_0 = 32.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	100
Figura 8. Resultado de DQO do ensaio 3 para o sistema concomitante com $S_0 = 36.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	101
Figura 9. Resultado de DQO do ensaio 4 para o sistema concomitante com $S_0 = 24.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	103
Figura 10. Resultado de DQO do ensaio 5 para o sistema concomitante com $S_0 = 17.900 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	104
Figura 11. Resultado de DQO do ensaio 6 para o sistema concomitante com $S_0 = 17.900 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	105
Figura 12. Curva padrão de ácido caproico	112
Figura 13. Curva padrão de lactose	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultados de DQO do ensaio 1 em RAC com $S_0 = 650 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	44
Tabela 2. Resultados de pH do ensaio 1 em RAC de 5L com $S_0 = 650 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	44
Tabela 3. Resultados de DQO do ensaio 2 em RAC de 5 L com $S_0 = 650 \text{ mg DQO.L}^{-1}$ e adição de 500 mL de lodo	45
Tabela 4. Resultados de pH do ensaio 2 em RAC de 5 L com $S_0 = 650 \text{ mg DQO.L}^{-1}$ e adição de 500 mL de lodo	45
Tabela 5. Métodos Analíticos	48
Tabela 6. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do ensaio 1, com $S_0 = 550 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	49
Tabela 7. Valores de DQO no RAC de 35,7L ao longo do tempo do ensaio 2, com $S_0 = 650 \text{ mg DQO.L}^{-1}$. a) abril 2015, b) maio 2015, c) junho 2015	49
Tabela 8. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do ensaio 3, com $S_0 = 1.190 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	50
Tabela 9. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do, ensaio 4, com $S_0 = 2.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$. a) Mês de agosto, b) Mês de setembro . 51	
Tabela 10. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do, ensaio 5 ^{a,b} , com $S_0 = 3.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$. Mês de outubro e novembro	52
Tabela 11. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do ensaio 6 ^{a,e} , com $S_0 = 2.000 \text{ mg DQO.L}^{-1}$	52

Tabela 12. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do ensaio 7 ^{a,b} , com S ₀ = 2.000 e 3.000 mg DQO.L ⁻¹ . Fevereiro-março 2016	53
Tabela 13. Valores de DQO no RAC de 35,7L ao longo do tempo do ensaio 8 ^{a,b+e} , com S ₀ = 3.000 e 2.000 mg DQO.L ⁻¹	53
Tabela 14. Valores de DQO no RAC de 35,7 L ao longo do tempo do ensaio 9 ^{a,b+e} , com S ₀ = 2.000 mg DQO.L ⁻¹	54
Tabela 15. Comparação de resultados dos ensaios em RAC 35,7 L	55
Tabela 16. Média de pH no RAC de 35,7 L ao longo do tempo	56
Tabela 17. Média de acidez e alcalinidade no RAC de 35,7 L ao longo do tempo.....	57
Tabela 18. Determinação da atividade lipolítica do extrato bruto em creme de leite	64
Tabela 19. Ensaio de tolerância de lodo anaeróbio ao álcool em diferentes concentrações	69
Tabela 20. Condições dos ensaios preliminares no RAAC	73
Tabela 21. DQO do RAAC, substrato inicial: 25.700, 3.000 e 7.900 mg DQO.L ⁻¹	75
Tabela 22. pH do RAAC, S ₀ = 25.700, 3.000 e 7.900 mg DQO.L ⁻¹	76
Tabela 23. DQO do RAAC, S ₀ = 687 mg DQO.L ⁻¹	76
Tabela 24. pH do RAAC, S ₀ = 687 mg DQO.L ⁻¹	77
Tabela 25. DQO do RAAC, substrato inicial: 3.025 mg DQO.L ⁻¹	77

Tabela 26. pH do RAAC, substrato inicial: 3.025 mg DQO.L ⁻¹	78
Tabela 27. DQO RAAC $S_0 = 6.500$ mg DQO.L ⁻¹	78
Tabela 28. pH de RAAC, $S_0 = 6.500$ mg DQO.L ⁻¹	79
Tabela 29. DQO de RAAC, $S_0 = 9,000$ mg DQO.L ⁻¹	79
Tabela 30. pH de RAAC, $S_0 = 9,000$ mg DQO.L ⁻¹	80
Tabela 31. Condições de ensaios preliminares em reator de coluna de bolhas, sedimentador e RAC em alimentação continua	85
Tabela 32. Resultado de DQO do ensaio 1, 2 e 3 em alimentação continua do reator de bolhas, sedimentador e RAC de 5 L.....	88
Tabela 33. Resultado de pH do ensaio 1, 2 e 3 em alimentação continua do sedimentador ao RAC de 5 L.....	89
Tabela 34. Métodos Analíticos	94
Tabela 35. Condições de ensaios em sistema concomitante: fermentador, sedimentador e RAC de 5 compartimentos em alimentação continua	96
Tabela 36. Condições de ensaios em sistema concomitante: fermentador e RAC de 4 compartimentos.....	96
Tabela 37. Resultados da caracterização de soro de queijo	97
Tabela 38. Resultados de eficiência.....	107
Tabela 39. Eficiências do ensaio 1	114
Tabela 40. Eficiências do ensaio 2	115
Tabela 41. Eficiências do ensaio 3	116

Tabela 42. Eficiências do ensaio 4	118
Tabela 43. Eficiências do ensaio 5	119
Tabela 44. Eficiências do ensaio 6	120

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio, mg DBO.L ⁻¹
DNS	Ácido Dinitrosalicílico, g.L ⁻¹
DQO	Demanda Química de Oxigênio, mg DQO.L ⁻¹
g.L⁻¹	Gramas por litro
h	Horas
L.dia⁻¹	Litros / dia
mg.CaCO₃.L⁻¹	Miligramas de carbonato de cálcio por Litro
mg.L⁻¹	Miligrama por litro
PDA	Potato Dextrose Agar
pH	Potencial Hidrogeniônico
RAC	Reator Anaeróbico Compartimentado
RAAC	Reator Aeróbico - Anaeróbico Compartimentado
rpm	Rotação por Minuto
TRH	Tempo de Residência Hidráulico
μmol.mL⁻¹	Micromol / mililitro
SSV	Sólidos suspensos voláteis, mg.L ⁻¹
S	Concentração de substrato, mg DQO.L ⁻¹
S₀	Substrato inicial, mg.L ⁻¹
UASB	Upflow anaerobic sludge reactor /reator anaeróbico de fluxo ascendente
v/v	volume / volume

SUMARIO

INTRODUÇÃO	20
OBJETIVO GERAL	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	23
1 CAPÍTULO I: Revisão Bibliográfica.....	25
1.1 Soro de queijo	26
1.2 Lipídios	27
1.3 Lipases.....	27
1.4 <i>Kluyveromyces marxianus</i>	29
1.5 Fermentação alcoólica.....	29
1.6 Reator vertical de bolhas.....	31
1.7 Digestão anaeróbia.....	31
1.8 Reatores anaeróbios.....	33
2 CAPÍTULO II: Tratamento de soro de queijo por digestão anaeróbia.....	41
2.1 (parte 1) Tratamento de soro de queijo em um reator RAC de 5 L.....	42
2.1.1 Introdução	42
2.1.2 Objetivo	42
2.1.3 Material e métodos.....	42
2.1.4 Resultados	43
2.1.5 Conclusões	46
2.2 (PARTE 2) TRATAMENTO DE SORO DE QUEIJO EM UM RAC DE 35,7 L.....	47

2.2.1	Introdução	47
2.2.2	Objetivo	47
2.2.3	Material e métodos.....	47
2.2.4	Resultados	49
2.2.5	Conclusões	58
2.3	Referências	58
3	CAPITULO III: Isolamento de fungos produtores de lipase para o tratamento de gordura do soro de queijo.....	60
3.1	Introdução	61
3.2	Objetivos	61
3.3	Material e métodos.....	61
3.3.1	Micro-organismos.....	61
3.3.2	Preparação do extrato enzimático bruto.....	62
3.3.3	Determinação da atividade lipolítica.....	62
3.4	Resultados	63
3.4.1	Isolamento e seleção de micro-organismos	63
3.5	Conclusões.....	65
3.6	Referências	65
4	CAPITULO IV: Tolerância ao álcool em lodo anaeróbio.....	67
4.1	Introdução.....	67
4.3	Material e métodos.....	68
4.3.1	Teste de tolerância ao álcool em lodo anaeróbio	68
4.4	Resultados.....	68

4.4.1	Resultados nos ensaios de tolerância de lodo anaeróbio ao álcool.....	68
4.5	Conclusões.....	69
4.6	Referências.....	69
5	Capítulo V: Tratamento de soro de queijo com levedura <i>Kluyveromyces marxianus</i> em um reator aeróbio - anaeróbio compartimentado.....	71
5.1	Introdução.....	71
5.2	Objetivo.....	72
5.3	Material e métodos.....	72
5.3.1	Processo aeróbio	72
5.3.2	Processo anaeróbio	72
5.3.3	Meio de cultura para crescimento de <i>Kluyveromyces marxianus</i>	73
5.3.4	Água residuária	74
5.3.5	Micro-organismos.....	74
5.4	Resultados.....	74
5.4.1	Resultados de ensaios e RAAC	74
5.5	Conclusões.....	81
5.6	Referências	82
6	CAPÍTULO VI: Tratamento de soro de queijo em um sistema integrado com levedura em um reator de coluna de bolhas, sedimentador e reator anaeróbio compartimentado (RAC).....	83
6.1	Introdução	84
6.2	Objetivo.....	84
6.3	Material e métodos.....	84

6.3.1	Reator de bolhas.....	84
6.3.2	Sedimentação de levedura.....	85
6.4	Resultados	87
6.4.1	Sistema integrado por reator de coluna de bolhas, sedimentador e RAC de 5 L	87
6.5	Conclusões.....	90
7	CAPITULO VII: Tratamento de soro de queijo em um sistema concomitante de um fermentador e um reator anaeróbio compartimentado - RAC.....	91
7.1	Introdução.....	92
7.2	Objetivo	92
7.3	Material e métodos	92
7.3.1	Preparação de inóculo	92
7.3.2	Fermentação de soro de queijo.....	93
7.3.3	Sedimentação da levedura.....	93
7.3.4	Tratamento em RAC	94
7.3.5	Caracterização físico-química de soro de queijo.....	94
7.3.6	Condições dos ensaios	96
7.3.7	Análise dos resultados	97
7.4.1	Caracterização do soro de queijo.....	97
7.4.2	Resultados de Ensaio.....	97
7.4.3	Resultados análises de dados	107
7.5	Conclusões	108
7.6	Referências	108
8	CONCLUSÃO GERAL.....	110

9	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
	APÊNDICE A. Curva padrão de ácido caproico	112
	APÊNDICE B. Curva padrão de lactose para DNS	113
	APÊNDICE C. Eficiências dos ensaios	114

INTRODUÇÃO

O soro de queijo é a porção aquosa do leite, que retém aproximadamente 55% dos nutrientes quando separado do coalho durante a produção de queijo. Tem uma grande importância pelo volume gerado e conteúdo nutricional com 6,0 % de sólidos totais, 5,0% de lactose, 1,0% de proteínas, 0,1 % de gordura, 0,8% de minerais e 0,9% de ácido láctico. Pela quantidade gerada de soro na produção de queijo de 9 L para cada kg do produto, assim como a pouca utilidade deste na indústria, virou-se um problema de suma importância devido à elevada carga orgânica de 68.000 mg DQO.L⁻¹. O soro representa 95% dos 32,1 bilhões de litros de leite por ano produzido no Brasil, tornando-se um grande poluente da indústria de laticínios.

O soro de queijo, embora seja empregado principalmente como proteína de soro para suplemento alimentício (em inglês, Whey Protein Concentrate – WPC), assim como na alimentação animal e na produção de etanol, ainda não se conseguiu utilizar nem a metade da sua produção gerada no país, pelo que é de vital importância dar um tratamento a este resíduo antes de ser descartado.

A produção de soro motivou o uso do processo fermentativo, assim como do processo aeróbio para encorajar a produção de biomassa usando como substrato o soro de queijo, o que já foi pesquisado até com valores de concentração inicial de 60 g.L⁻¹ de soro de queijo, com resultados favoráveis.

A integração de ambos processos é uma inovação dentro da área de tratamento de efluentes com resíduos de alto teor de matéria orgânica, pois o efluente conseguirá entrar com uma carga orgânica suportável no processo anaeróbio, obtendo um resíduo com baixa carga orgânica.

Este trabalho está focado na redução de DQO do soro de queijo mediante diferentes métodos de tratamento de efluentes por sistemas separados e em um sistema concomitante de processos aeróbio ou fermentação com *Kluyveromyces marxianus*, sedimentação de células de levedura, reutilização de células de levedura, tratamento de gordura do soro de queijo mediante a geração e uso de lipase e a avaliação de reatores anaeróbios compartimentados. Nesta pesquisa, procura-se por soluções possíveis para o tratamento de efluentes, com intuito de diversificar e a sua vez integrar sistemas aeróbios e anaeróbios, para a remoção de poluentes com concentrações elevadas de carga orgânica. Desta forma, com possibilidades de obter, além da remoção de matéria orgânica, coprodutos com alto valor agregado, como a biomassa de levedura, álcool e biogás com a finalidade de ser utilizado como biocombustível.

7.5 Conclusões

De acordo com a variação dos resultados de remoção, se obtiveram desvios-padrão muito grandes, pelo que não foi viável realizar o ANOVA pois os 6 ensaios foram amplamente diferentes obtendo visivelmente diferenças significativas.

As eficiências totais médias do sistema concomitante alcançaram uma remoção de 81% para a concentração inicial de 28.100 mg DQO.L⁻¹, sendo a mais alta obtida em todos os ensaios.

O uso do sedimentador beneficia na remoção de biomassa assim como na eficiência geral do sistema concomitante.

7.6 Referências

APHA (American Public Health Association), **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th Edition, ed. Clesceri L.S., Greenberg A.E., Eaton A.D.. Washington, DC: American Public Health Association, 1998.

CICHELO, G. C. V; TOMMASO, G.; RIBEIRO, R. Characterization and Kinetics of the Anaerobic Treatment of Dairy Wastewaters. **Unopar Científica. Ciências Biológicas e da Saúde**. 15, 27–40. 2012.

DERELI, R. K., ZE, V. D., OZTURK, F. P., LIER, I. V., JULES, B. Treatment of cheese whey by a cross-flow anaerobic membrane bioreactor: Biological and filtration performance. **Environmental Research**. 168, 109–117. 2019.

HAMERSKI, F. Ascendente com manta de lodo (UASB) no tratamento de efluentes. **Environmental Research**. 168, 109-117. 2012.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4 edição, edição digital, São Paulo. 2008.

MILLER, G. H. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, 31, p. 426- 429. 1959.

MURARI, C. S. Isolamento, seleção e aplicação de leveduras não convencionais para produção de bioetanol a partir do soro de queijo. Tese de doutorado, IBILCE-UNESP. 2017.

TEXEIRA L.V., FONSECA, L. M. (2008). Perfil físico-químico do soro de queijos mozzarella e minas-padrão produzidos em várias regiões do estado de Minas Gerais. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec**, 60(1),243-250.

8 CONCLUSÃO GERAL

De modo geral, todos os testes realizados neste trabalho alcançaram remoções de matéria orgânica de soro de queijo, resumindo: para o reator aeróbio – anaeróbio compartimentado com levedura e manta de lodo, a melhor remoção foi de 98% na concentração de 9.000 mg DQO.L⁻¹; para o sistema conformado pelo reator de bolhas para a aerobiose da levedura, sedimentador e RAC, a remoção alcançou 89,9% com a concentração de entrada de 6.000 mg DQO.L⁻¹. No caso do RAC de volume de 5 L, se obteve remoções de 14% devido a falta de aclimação do lodo, no entanto o RAC de 35,7 L obteve uma remoção de 93% para a concentração de 2.000 mg DQO.L⁻¹. O sistema concomitante de fermentação – sedimentador – RAC de 5 compartimentos conseguiu uma remoção de 81%, com concentração inicial de 28.100 mg DQO.L⁻¹ e por último para sistema concomitante do fermentador da levedura seguido da digestão anaeróbia em um RAC de 4 compartimentos teve uma eficiência de 74% para 17.900 mg DQO.L⁻¹ de concentração inicial.

O resultado da remoção efetuada pelos processos aeróbios e anaeróbios tem sido muito satisfatória para o tratamento de soro de queijo considerando a combinação de ambos processos (fermentação, aerobiose e digestão anaeróbia) para altas concentrações de substrato, chegando a obter remoções totais de até 98%.

Tanto o processo de digestão anaeróbia como a aerobiose, além de apresentar um alto aproveitamento de resíduos de laticínios, são uma alternativa de geração de coprodutos como são a biomassa e o etanol no caso da fermentação e de biogás em digestão anaeróbia.

A causa da baixa concentração de gordura presente no soro de queijo, foi desconsiderado o uso da lipase no sistema concomitante, pois os resultados de atividade lipolítica com creme de leite o qual tem um maior teor de gordura que o soro, se obtiveram valores baixos de atividade lipolítica, além de que a adição deste processo aumentaria o custo do sistema pela manutenção do fungo a ser utilizado.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com o sistema concomitante apresentando vantagens sobre o sistema anaeróbio, pode-se adicionar um pos-tratamento utilizando *Spirulina platensis*, que também já é estudada para o tratamento de efluentes.

A recuperação de coprodutos como o etanol e o biogás, assim como a levedura, é uma alternativa viável para aumentar mais ainda as vantagens deste tipo de sistema de tratamento de efluentes.

Sugere-se prosseguimento nas pesquisas de sistemas concomitantes, com vistas à operação de campo, onde é difícil operar em condições estáveis, assim como um seguimento nos testes de álcool para obter o limite máximo de tolerância de etanol no lodo anaeróbio.