

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
CAMPUS DE JI-PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

LINDOLAINE MACHADO DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO EM
SISTEMA ANÓXICO E AERÓBIO DE LEITO MÓVEL COM BIOFILME (MBBR)
UTILIZANDO EFLUENTE DE LATICÍNIO**

Ji-Paraná / RO

2023

LINDOLAINE MACHADO DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO EM
SISTEMA ANÓXICO E AERÓBIO DE LEITO MÓVEL COM BIOFILME (MBBR)
UTILIZANDO EFLUENTE DE LATICÍNIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Ambiental e Sanitária,
Fundação Universidade Federal de
Rondônia, Campus Ji-Paraná, como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Ambiental e
Sanitária.

Orientador: **Prof. Dr. Alberto Dresch Weblar**

**Ji-Paraná / RO
2023**

Catalogação da Publicação na Fonte
Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR

S725a Sousa, Lindolaine Machado de.

Avaliação das taxas de nitrificação e desnitrificação em sistema anóxico e aeróbio de leito móvel com biofilme (MBBR) utilizando efluente de laticínio / Lindolaine Machado de Sousa. - Ji-Paraná, 2023.

44 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alberto Dresch Webler.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus de Ji-Paraná, Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2023.

1. Remoção de nitrogênio. 2. Remoção da carga orgânica. 3. Parâmetros de dimensionamento. 4. Tratamento biológico. I. Webler, Alberto Dresch. II. Título.

Biblioteca Setorial de Ji-Paraná

CDU 628.16



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - JI-PARANÁ

ATA DE DEFESA DE CONCLUSÃO DE CURSO

As 9 horas do dia 25 do mês de maio de 2023, realizou-se na sala de aula 3 no prédio do Departamento Acadêmico de Engenharia Ambiental e de maneira remota pela plataforma meet.google.com/cuc-wwgb-bds, a Sessão de Apresentação e Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “Avaliação das taxas de nitrificação e desnitrificação em sistema anóxico e aeróbio de leito móvel com biofilme (MBBR) utilizando efluente de laticínio”, apresentado pela acadêmica Lindolaine Machado de Sousa. O trabalho foi julgado satisfatório pelos pesquisadora Nicolý Dal Santo Svierzoski da Universidade do Rio de Janeiro e pelos docentes Nara Luísa Reis de Andrade e Alberto Dresch Webler, DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - JI-PARANÁ, da Fundação Universidade Federal de Rondônia - UNIR, *Campus* de Ji-Paraná, com nota 82 como requisito parcial para obtenção do título de BACHARELADO em Engenharia Ambiental e Sanitária e aprovado em sua forma atual, com ressalvas para correções a serem feitas pelo aluno antes de submeter a versão definitiva para o fechamento da nota na disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso.

Ji-Paraná, 25 de maio de 2023.

Aprovador pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

ORIENTADOR: Alberto Dresch Webler

Aprovado (x) Reprovado ()

AVALIADOR 1: Nicolý Dal Santo Svierzoski

Aprovado (x) Reprovado ()

AVALIADOR 2: Nara Luísa Reis de Andrade

Aprovado (x) Reprovado ()

Reaberta a sessão pública o orientador proclamou os resultados e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata que vai por mim assinada.

Professor orientador
Alberto Dresch Webler



Documento assinado eletronicamente por **ALBERTO DRESCH WEBLER, Docente**, em 25/05/2023, às 16:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **NARA LUISA REIS DE ANDRADE, Docente**, em 25/05/2023, às 17:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **NICOLY DAL SANTO SVIERZOSKI, Usuário Externo**, em 26/05/2023, às 08:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1355588** e o código CRC **9959DEF2**.

In vino veritas, in aqua sanitas
(*Plínio, o Velho; 23 – 79 d.C*)

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos devem iniciar com as pessoas que mais nos motivaram e deram suporte a continuar na corrida acadêmica, em meu caso, essas pessoas são minha família, meus pais Kesia Sousa e Francisco Sousa, que me mostraram a possibilidade de conquistar caminhos melhores dos que nos são impostos; minha irmã Jhenifer Sousa, que sempre me motivou a ser alguém melhor e que ela possa se espelhar, mesmo ela sendo um dos meus maiores exemplos.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Alberto Dresch Webler, pelo suporte para desenvolver essa pesquisa e por ter me orientado e compartilhado seu conhecimento; agradeço também a banca avaliadora a Profa. Dra. Nara Luísa Reis de Andrade e Eng. Mestre Nicolay Dal Santo Svierzoski. Ao PIBIC e CNPq, por viabilizarem esta pesquisa. Incluo em meus agradecimentos meus companheiros de pesquisa Gracieli Monteiro e Marcelo Ryan, por disponibilizarem tempo para me dar apoio e todo o suporte que recebi de ambos; agradeço ao Técnico Adão Oliveira pela paciência e cuidado durante os processos de análise.

Registro aqui, todo o orgulho que tenho por fazer parte do Departamento de Engenharia ambiental e ter sido ensinada pelo corpo docente que compõe o departamento; todo o conhecimento que adquiri foi ensinado pelos nossos professores que sempre me incentivou a buscar mais e ir além do que nos é oferecido em sala. Sei que serei uma ótima Engenheiras, pois meus professores me ensinaram a ser uma ótima Engenheira.

Sou grata a Universidade Federal de Rondônia, por todo suporte acadêmico fornecido para meu desenvolvimento, bem como para o desenvolvimento dessa pesquisa. Ao laboratório Físico-química e Laboratório de Saneamento Ambiental por disponibilizar a estrutura física que a pesquisa necessitava.

Ao longo dessa caminhada compartilhei diversos momentos com amigos que conquistei ao longo dos anos, sempre lembrarei com carinho da minha turma de 2016, e as turmas que entraram nos anos seguintes. Essas pessoas possibilitaram minha caminhada ser mais leve. A Giovanna Martins que esteve comigo sendo não apenas uma boa amiga, minha companheira acadêmica, ouvindo todos meus momentos de angústia que apenas outra estudante de engenharia entenderia.

RESUMO

Atualmente, existe a preocupação com os resíduos gerados nos processos industriais, principalmente na indústria alimentícia. No caso especial da indústria de laticínios, essa preocupação é ainda maior, pois o leite e seus derivados possuem alta concentração de matéria orgânica e nutrientes, levando à geração de efluentes altamente poluentes. Diante desse cenário, é necessário buscar melhorias no tratamento dessas águas residuais com o objetivo de reduzir as cargas orgânicas e de nitrogênio. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de reatores aeróbios e anaeróbios em uma bancada de testes para redução de nitrogênio associada à tecnologia de reator biológico de leito móvel (MBBR). Além disso, a remoção de carga orgânica também é analisada para determinar os parâmetros iniciais do projeto, como o tempo de retenção hidráulica (TRH) e a taxa de remoção, destacando que a utilização desta metodologia, tem como intuito apresentar padrões para a região de implantação dos reatores. Esta análise permite uma melhor compreensão do desempenho destes reatores no contexto da purificação das águas residuais provenientes desta indústria, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis nesta área. Essa redução das concentrações é observada por meio de ensaios de remoção adicionando concentrações conhecida dos mesmos sendo de 50 mg.L^{-1} de N-NH_4^+ e N-NO_2^- , considerando que a CONAMA 430/2011, apresenta padrões de lançamento para efluentes provenientes de indústria, trazendo apenas concentração limite para nitrogênio amoniacal total de 20 mg.L^{-1} , durante o processo de desenvolvimento dos reatores, foram observados a remoção da carga orgânica dos reatores, por meio de análise da demanda química de oxigênio (DQO). A partir desses concentrações base para os ensaios, observou-se que a concentração 50 mg.L^{-1} de N-NH_4^+ , foi reduzida para $12,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de N-NH_4^+ , já a concentração de 50 mg.L^{-1} de NO_2^- -N foi reduzida para $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ de N-NO_2^- , sendo assim os reatores aeróbio e anóxico apresentaram eficiência de 74,5% e <95% respectivamente, estabelecendo TRH mínimo para os reatores de aproximadamente 5 dias de reator, quando analisado a carga nitrogenada de entrada do efluente; para a concentração de carga orgânica do efluente a remoção foi superior a 95%, saindo de 2480 mg.L^{-1} de DQO para concentração $<50 \text{ mg.L}^{-1}$. Os resultados obtidos, mesmo durante a fase inicial de desenvolvimento da biomassa nos reatores, foram impressionantes em termos do potencial de aplicação em escala real de tratamento. Por essa razão, é altamente recomendado realizar um estudo mais abrangente e prolongado, a fim de aprimorar ainda mais o desempenho dos reatores. Essa extensão permitiria a análise e otimização contínuas da entrada de efluentes, bem como a remoção eficiente das cargas orgânicas e nitrogenadas.

Palavras-Chaves: Remoção de nitrogênio; Remoção da carga orgânica; Parâmetros de dimensionamento; Tratamento biológico.

ABSTRACT

Currently, there is concern about the waste generated in industrial processes, especially in the food industry. In the case of the dairy industry, this concern is even greater because milk and its derivatives have a high concentration of organic matter and nutrients, leading to the generation of highly polluting effluents. In light of this scenario, it is necessary to seek improvements in the treatment of these wastewater streams in order to reduce organic and nitrogen loads. In this regard, the objective of this study is to evaluate the performance of aerobic and anaerobic reactors in a test bench for nitrogen reduction, associated with the moving bed biofilm reactor (MBBR) technology. Additionally, the removal of organic load is also analyzed to determine the initial design parameters such as hydraulic retention time (HRT) and removal rate. It is worth noting that the use of this methodology aims to establish standards for the implementation region of the reactors. This analysis allows for a better understanding of the performance of these reactors in the context of purifying wastewater from this industry, contributing to the development of more efficient and sustainable solutions in this field. The reduction of concentrations is observed through removal tests by adding known concentrations of 50 mg.L^{-1} of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_2^-\text{-N}$. Considering that CONAMA 430/2011 provides discharge standards for industrial effluents, with a maximum limit concentration of 20 mg.L^{-1} for total ammoniacal nitrogen, the removal of organic load from the reactors was observed during their development through analysis of chemical oxygen demand (COD). Based on these baseline concentrations for the tests, it was observed that the concentration of N-NH_4^+ of 50 mg.L^{-1} was reduced to 12.4 mg.L^{-1} , while the concentration of N-NO_2^- of 50 mg.L^{-1} was reduced to 0.1 mg.L^{-1} of N-NO_2^- . As a result, the aerobic and anoxic reactors showed efficiencies of 74.5% and <95%, respectively, establishing a minimum HRT for the reactors of approximately 5 days when considering the nitrogen load of the influent. For the organic load concentration of the effluent, the removal exceeded 95%, decreasing from 2480 mg.L^{-1} of COD to a concentration $<50 \text{ mg.L}^{-1}$. The results obtained, even during the initial phase of biomass development in the reactors, were impressive in terms of their potential for real-scale treatment application. For this reason, it is highly recommended to conduct a more comprehensive and extended study in order to further enhance the performance of the reactors. This extension would enable continuous analysis and optimization of influent entry, as well as efficient removal of organic and nitrogen loads.

Keywords: Nitrogen removal; Organic load removal; Design parameters; Biological treatment

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Biomídias na primeira etapa de aclimação | 23 |
| Quadro 2 - Biomídias na segunda etapa de aclimação | 24 |
| Quadro 3 - Aparências dos reatores durante o processo de remoção..... | 25 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Layout do sistema de tratamento. | 22 |
| Figura 2 - Ensaio de remoção de Nitrogênio Amoniacal no Reator Aeróbio | 32 |
| Figura 3 - Ensaio de remoção de Nitrito no Reator Anóxico | 34 |
| Figura 4 - Demanda química de oxigênio durante o processo de aclimação | 36 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Parâmetros estabelecidos pela CONAMA n° 430/2011 para lançamento de efluente de laticínio | 17 |
| Tabela 2 - Características do meio de suporte utilizados nos reatores | 21 |
| Tabela 4 - Reagentes utilizados para fabricar 20 litros de efluente sintético. | 22 |
| Tabela 3 - Caracterização do efluente sintético com tratamento prévio..... | 27 |
| Tabela 5 - Parâmetros ideais para melhor remoção de nutrientes nos reatores | 30 |
| Tabela 6 - Parâmetros para dimensionamento inicial do reator aeróbio | 33 |
| Tabela 7 - Parâmetros para dimensionamento inicial do reator anóxico..... | 34 |

LISTA DE SIGLAS

DQO – Demanda Química de Oxigênio

H₂O - Água

MO – Matéria Orgânica

NH₄⁺ - Nitrogênio Amônio

NO₂⁻ - Nitrito

NO₃⁻ - Nitrato

O₂ – Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido

OH⁻ - Hidroxila

TRH - Tempo de Residência Hidráulico

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

MBBR – Reator Biológico de Leito Móvel

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| INTRODUÇÃO | 13 |
| 1 REFERENCIAL TEÓRICO | 15 |
| 1.1 INDUSTRIA LEITEIRA | 15 |
| 1.2 EFLUENTES GERADOS PELA INDÚSTRIA LEITEIRA | 16 |
| 1.3 PADRÕES DE LANÇAMENTO | 17 |
| 1.4 REATORES AERÓBIOS | 17 |
| 1.5 REATORES ANÓXICOS | 19 |
| 2 MATERIAIS E METODOS | 20 |
| 2.1 DESENVOLVIMENTO DOS REATORES | 20 |
| 2.2 EFLUENTE SINTÉTICO | 22 |
| 2.3 ACLIMATAÇÃO | 23 |
| 2.4 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE | 27 |
| 2.5 METODOLOGIA ANALÍTICA | 28 |
| 2.5.1 pH, Temperatura e Condutividade | 28 |
| 2.5.2 Demanda Química de Oxigênio | 28 |
| 2.5.3 Nitrogênio Amoniacal | 29 |
| 2.5.4 Nitrito | 29 |
| 2.5.5 Nitrato..... | 29 |
| 2.6 ENSAIOS DE REMOÇÃO | 30 |
| 3 RESULTADO E DISCUSSÃO | 31 |
| 3.1 REMOÇÃO DE NITROGRNIO AMONICAL | 31 |
| 3.2 REMOÇÃO DE NITRITO | 33 |
| 3.3 REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA | 33 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 38 |
| REFERÊNCIAS | 39 |

INTRODUÇÃO

A atividade econômica é fundamental para o desenvolvimento de produtos e bens de consumo, devendo ser realizada baseada na capacidade suporte onde ela está inserida. Atualmente, a alteração do meio ambiente natural constitui um dos grandes desafios da sociedade. Os processos industriais são um dos principais responsáveis por essas alterações, sobretudo, tem-se como exemplo a geração de águas residuais, efluentes gasosos e sólidos oriundas de indústrias de alimentos, quando não efetivamente tratadas, apresentam problemas sérias a toda sociedade (MATOS, 2020).

Dentre as indústrias, um dos principais contribuintes para essa geração de efluentes, pode-se citar o setor de laticínios, uma vez que produzem um alto volume de efluentes que demandam tratamento apropriado antes de serem despejados em corpos hídricos (DIAS et al, 2018). O processo produtivo do leite, bem como seus derivados, apresenta grande potencial poluidor das águas, pois possuem um elevado teor de matéria orgânica e nutrientes, se lançados em corpos hídricos de forma inapropriada podem causar impactos negativos no meio ambiente e no ecossistema por completo (AZZOLINI e FABRO, 2013).

Dessa forma, mesmo com as origens diversas de efluentes, o tratamento é obrigatório antes do descarte, para atender os padrões de lançamento da Resolução nº 430 do CONAMA (BRASIL, 2011), a fim de conservar rios, mananciais de quaisquer alterações antrópicas (MAGNONI, 2019), e vale ressaltar que a normativa nacional é menos restritiva, se compararmos com a CETESB, INEA e afins.

Dada a predominância das lagoas de estabilização como método de tratamento de efluentes no estado de Rondônia, é importante destacar a necessidade de buscar novas abordagens que sejam mais compactas e eficientes. Embora as lagoas de estabilização sejam amplamente utilizadas devido à sua relativa simplicidade de operação, elas ocupam uma área considerável, o que pode limitar sua aplicação em regiões onde o espaço é escasso (TEIXEIRA, 2021). Diante desse cenário, surge a demanda por sistemas de tratamento inovadores que possam oferecer uma eficiência superior em um espaço reduzido.

Esta pesquisa se desenvolveu para determinar taxa de aplicação na remoção de nitrogênio através de reatores aeróbico e anóxico de leito móvel (MBBR) em escala de bancada. Além disso, a remoção de carga orgânica também é analisada para determinar os parâmetros iniciais do projeto, como o tempo de retenção hidráulica (TRH) e a taxa de remoção, destacando que a utilização desta metodologia, tem como propósito estabelecer fatores de

dimensionamento para a indústria de laticínios, apresentando assim um processo de tratamento adequado para a indústria de laticínio no estado de Rondônia.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

Para compreensão dos processos adotados e do objeto de estudo este tópico traz um pequeno aparato sobre a indústria leiteira no Brasil, assim como em Rondônia. Também aborda alguns tratamentos de águas residuais mais adotados na atualidade.

1.1 INDÚSTRIA LEITEIRA

A indústria de laticínios do Brasil é uma importante atividade econômica, gerando empregos e movimentando milhões de reais todos os anos. A produção leiteira no Brasil, tornou-se uma base na geração de empregos e rendas, segundo o valor bruto da produção (BRASIL, 2022) a produção de leite e seus derivados vem representando 37% da produção pecuária até setembro de 2022. Apenas em 2021 produção de leite no país foi 3,5 milhões de litros, gerando um valor bruto de produção de R\$ 54.009.000.000, com estimativa de aumento de 0,8% no ano de 2022 (IBGE, 2021).

A cadeia produtiva do leite envolve a produção, transporte, industrialização e comercialização de leite em pó, queijo, iogurte e outros derivados lácteos. No Brasil, essa cadeia se caracteriza pela presença de diversos players, desde pequenos produtores até grandes empresas multinacionais, atuando em diferentes etapas do processo produtivo.

A produção anual de leite é liderada pela Índia, que produz mais de 190 milhões de toneladas de leite. Logo em seguida, estão os Estados Unidos, a China, o Brasil e a Rússia. A produção anual de leite no Brasil é de aproximadamente 38 milhões de toneladas apenas em 2022 (BRASIL, 2022). O país tem grande potencial para a produção de leite devido à sua grande área e clima favorável para a criação de gado. Além disso, o Brasil é o maior exportador mundial de carne bovina, o que reforça a importância da produção de lácteos na economia do país (GIEHL et al, 2022).

A produção de leite é uma atividade econômica muito importante para o estado de Rondônia, 9º maior produtor de leite do país (EMATER, 2021), localizado na região norte do Brasil. A pecuária leiteira responde por parcela significativa da produção agropecuária do estado, contribuindo para a geração de renda e emprego de milhares de famílias, apenas em 2021 o estado de Rondônia produziu 741.053 litros de leite, gerando assim um valor de produção de R\$ 1,15 bilhões (IBGE, 2022).

Com a grande importância econômica da produção da indústria leiteira no país, a qualidade do leite tornou-se uma questão importante para a indústria de laticínios, pois afeta

diretamente a segurança alimentar dos consumidores e a competitividade dos produtos nos mercados doméstico e internacional. Nesse sentido, surgiram esquemas de controle e certificação da qualidade do leite, como o Selo Mais Leite, que visa incentivar as boas práticas na produção e garantir a qualidade do produto final (BRASIL, 2023).

Além disso, a indústria de laticínios enfrenta desafios como o aumento da concorrência de produtos alternativos, como bebidas de soja e amêndoa, e pressão para adotar métodos de produção mais sustentáveis e responsáveis, como o uso de energia renovável e a redução dos impactos da poluição ambiental (GONÇALVES, 2018).

Por fim, cabe ressaltar que o setor lácteo no Brasil, assim como no estado de Rondônia, tem potencial de crescimento e potencial de geração de emprego e renda, mas distante de políticas públicas que estimulem a produção e comercialização de derivados lácteos (Brasil, 2018).

1.2 EFLUENTES GERADOS PELA INDÚSTRIA LEITEIRA

Apesar de todos os benefícios econômicos e sociais envolvidos nesta indústria, esta atividade gera grandes quantidades de águas residuárias, compostas principalmente por água, matéria orgânica e nutrientes. Se não forem tratados adequadamente, esses efluentes podem causar impactos ambientais, como contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas, emissão de gases de efeito estufa e odores desagradáveis (NADERLOO & BAPTIST, 2018).

Segundo Sarava (2009), cada 1 m³ de leite produzido pode gerar volume igual de efluente, já em laticínios que trabalham com diversos produtos o volume pode chegar a 6m³. A composição dos efluentes da indústria de laticínios varia de acordo com o tipo de processo de fabricação do produto. Em geral, as águas residuais da produção de leite são ricas em proteínas, gorduras e lactose, enquanto as águas residuais da fabricação de queijos são ricas em sólidos totais e sais (MISHAR et al., 2022).

Nesse sentido, diferentes tecnologias podem ser utilizadas para o tratamento de efluentes da indústria de laticínios, como lagoas de estabilização, reatores anaeróbicos, biofiltros, entre outros. A escolha do método mais adequado depende das características do efluente, das condições climáticas e dos requisitos legais.

O tratamento adequado de efluentes da indústria de laticínios pode trazer diversos benefícios, como redução do impacto ambiental, melhoria da qualidade da água e do solo, recuperação de nutrientes utilizados na agricultura, redução dos custos de tratamento e melhoria da imagem corporativa perante a sociedade (CECCHETTI, et al, 2019).

No Brasil, existem leis específicas que regulam o controle e tratamento de efluentes industriais, como a Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece padrões de qualidade para efluentes líquidos lançados em corpos hídricos.

1.3 PADRÕES DE LANÇAMENTO

No Brasil, as normas para o lançamento de efluentes de laticínios são regulamentadas pela legislação ambiental que estabelece limites de qualidade e condições para o lançamento de efluentes em corpos hídricos.

A Resolução CONAMA nº. 430/2011 estabelece padrões de qualidade para o lançamento de efluentes em corpos hídricos e estabelece limites máximos de concentração para diversas substâncias. Além disso, a decisão também especifica as condições de liberação, como se é necessário pré-tratamento, a localização do local de liberação, a distância mínima entre o ponto de coleta de água potável e o local de liberação, dentre outros.

No que se refere especificamente aos efluentes da indústria leiteira, a Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece os padrões de qualidade para o lançamento de efluentes líquidos gerados por qualquer fonte poluidora. De acordo com a norma, a Tabela 1 apresenta os limites máximos que efluentes líquidos de laticínios devem atender.

Tabela 1 - Parâmetros estabelecidos pela CONAMA nº 430/2011 para lançamento de efluente de laticínio

| Parâmetro | Concentração |
|--|-----------------------|
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅) | Reduzir 60% |
| Materiais Sedimentáveis | 1 mL.L ⁻¹ |
| Óleos Minerais | 20 mg.L ⁻¹ |
| Óleos Vegetais e Gorduras Animais | 50 mg.L ⁻¹ |
| Nitrogênio Amoniacal Total | 20 mg.L ⁻¹ |
| pH | 5,0 a 9,0 |

Além disso, a resolução estabelece que o pH deve ser corrigido caso necessário. Vale ressaltar que esses padrões são máximos e que a indústria leiteira pode adotar medidas mais rigorosas de controle ambiental, visando à preservação do meio ambiente e à melhoria da qualidade de seus processos e produtos.

1.4 REATORES AERÓBIOS

Existem vários tipos de reatores aeróbicos que são usados para tratamento de efluentes, como reatores de batelada, reatores contínuos, reatores de leito fixo, entre outros. Cada tipo de reator possui características específicas, vantagens e desvantagens em relação a outros sistemas. Reatores aeróbicos são sistemas biológicos que usam oxigênio para degradação biológica da

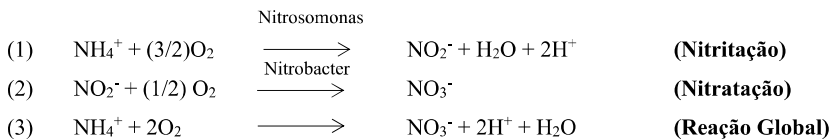
matéria orgânica em águas residuais. Esses reatores podem ser usados para tratar diferentes tipos de efluentes, como efluentes domésticos, industriais e agrícolas.

No reator aeróbico, a oxidação do nitrogênio amoniacal pode ser realizada por bactérias do gênero *Nitrosomonas*, que convertem nitrogênio amoniacal em nitrito, e bactérias do gênero *Nitrobacter*, que convertem nitritos em nitratos. Essas bactérias, conhecidas como bactérias oxidadoras de amônia (BOA), são encontradas em diferentes tipos de ambientes, como solo, água doce e água salgada, e desempenham um papel crucial no que se refere ao tratamento de águas residuais ricas em nitrogênio (MACHADO, 2021).

As BOA's são sensíveis a mudanças nas condições ambientais, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, concentrações de nutrientes e cargas orgânicas (METCALF & EDDY, 2003). Quando ocorre a variação desses parâmetros a qualidade de vida das bactérias decaem, ocasionando na sua baixa eficiência na atividade de conversão da amônia.

Esse processo é chamado de nitrificação porque é necessário em sistemas de tratamento de efluentes que contêm altas concentrações de amônia, um nutriente importante para o crescimento das plantas, mas que pode ser tóxico para a vida aquática.

As equações (1) e (2) mostram os processos químicos que ocorrem durante a nitrificação, A equação (3) apresenta a equação global.



O tempo de retenção hidráulica (TRH) é um parâmetro importante a ser considerado na operação do reator aeróbico. TRH é o tempo médio de residência da água no reator, calculado dividindo-se o volume do reator pela vazão de entrada. Uma quantidade suficiente de TRH pode efetivamente remover a matéria orgânica e a sedimentação das águas residuais (TEOBALDO, 2017)

O pH é um dos parâmetros mais importantes a controlar, pois as atividades das bactérias nitrificantes são afetadas pelo valor do pH da solução, e o valor ideal varia de 7,2 a 7,5. Valores abaixo ou superiores a este intervalo podem inibir o crescimento bacteriano (METCALF & EDDY, 2003).

Outro parâmetro importante é a temperatura. Bactérias nitrificantes são sensíveis a mudanças de temperatura e a taxa de nitrificação aumenta com o aumento da temperatura até

que o ponto ótimo seja alcançado. Em geral, a temperatura ideal para a nitrificação está entre 25°C e 30°C (METCALF & EDDY, 2003).

A concentração de oxigênio dissolvido (OD) também é um fator importante para a nitrificação, sendo que a faixa ideal é de 2 a 4 mg.L⁻¹, porém, concentrações acima desses valores não são inibidores do processo de nitrificação (SANTIAGO, 1997). As bactérias nitrificantes são bactérias aeróbicas, o que significa que precisam de oxigênio para realizar o processo de nitrificação. Portanto, é importante garantir uma boa aeração do efluente tratado para manter a concentração de oxigênio dissolvido em um nível adequado para a atividade bacteriana.

A carga orgânica também afeta a nitrificação. O excesso de matéria orgânica levará a uma diminuição da atividade das bactérias oxidadoras da amônia (BOAs), o que afeta a eficiência do processo de nitrificação. Por outro lado, baixas concentrações de matéria orgânica reduzem a disponibilidade de nutrientes para as bactérias nitrificantes, limitando sua atividade (JUNIOR, 2020).

1.5 REATORES ANÓXICOS

O reator anóxico é um sistema de tratamento de águas residuais que utiliza bactérias heterotróficas para remover o nitrogênio das águas residuais (MAGRI, 2009). Consiste em um tanque de reação deficiente em oxigênio, no qual as bactérias consomem carbono orgânico e nitrogênio, e depende de um tanque de reação aeróbico, no qual as bactérias convertem nitrogênio amoniacal em nitrato ou nitrito, conforme descrito no tópico anterior.

As bactérias anaeróbicas usam o carbono orgânico presente nas águas residuais como fonte de energia e o nitrogênio como acceptor de elétrons para a respiração (ZHANG & ZHOU, 2007). Durante esse processo, denominado de desnitrificação, o nitrato é reduzido a gás nitrogênio, que é liberado na atmosfera, a equação (4) mostra de forma química essa transformação.



Para garantir uma desnitrificação efetiva, alguns parâmetros importantes que afetam a atividade das bactérias desnitrificantes durante o processo devem ser monitorados e controlados. Um desses critérios é a concentração de nitratos nas águas residuais. A eficiência da desnitrificação é diretamente proporcional à concentração de nitrato disponível para as bactérias desnitrificantes, por isso é importante garantir uma concentração adequada de nitratos (SANTOS, 2014).

A temperatura também é um fator importante na desnitrificação. Bactérias desnitrificantes são sensíveis a mudanças de temperatura e a taxa de desnitrificação aumenta com o aumento da temperatura até que o ponto ótimo seja alcançado. Em geral, a temperatura ideal para desnitrificação está entre 25 °C e 35 °C (VAN HANDEL e MARAIS, 1999).

O pH é um parâmetro que tem efeito significativo no desenvolvimento do reator, valores muito a abaixo da faixa de pH ideal ou muito acima, desaceleram significativamente o processo de desnitrificação (SURAMPALLI et al., 1997). Segundo Moraes (2015),” para valores de pH abaixo de 7,0, a produção de óxidos de nitrogênio com alta toxicidade é mais acentuada, e caso haja a presença de nitrito nestas condições de pH, elevadas concentrações de ácido nitroso podem estar presentes” (apud ANTHONISEN et al., 1976).

A carga orgânica também afeta a desnitrificação. O excesso de matéria orgânica pode causar diminuição da atividade bacteriana, afetando a eficiência do processo de desnitrificação. Por outro lado, baixas concentrações de matéria orgânica reduzem a disponibilidade de nutrientes para as bactérias desnitrificantes, limitando sua atividade (SANTOS, 2014).

Finalmente, a concentração de oxigênio dissolvido (OD) também é um fator importante na desnitrificação. Bactérias desnitrificantes são bactérias anaeróbicas, o que significa que não podem sobreviver em ambientes ricos em oxigênio. Portanto, é importante garantir condições anoóxicas no reator de desnitrificação para permitir a atividade bacteriana (SANTOS, 2014; FILHO, 2019).

2 MATERIAIS E METODOS

Nos tópicos a seguir apresenta-se a metodologia para o desenvolvimento do sistema de tratamento, desde a confecção dos reatores propriamente dito, até a metodologia analítica, apontando os cuidados necessários para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 DESENVOLVIMENTO DOS REATORES

Para o desenvolvimento dos reatores optou-se por utilizar em nível de bancada, sendo confeccionado e mantido no Laboratório de Saneamento (SANEAM) da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), campus de Ji-Paraná. Todo o processo de confecção, aclimação e período de tratamento com realização de análise foram realizadas do mês de agosto de 2022 a abril de 2023.

O sistema de tratamento contava com dois reatores trabalhando de forma conjunta para a realização do tratamento, sendo o primeiro reator anóxico e o segundo Reator Aeróbio; sendo os reatores desenvolvidos em formato cilíndrico com 30 cm de altura e 12 cm de diâmetro,

tendo como volume útil 4 litros cada reator, sendo o volume útil de 3,2 litros e 1,6 litros de biomédias.

Os reatores contam com a tecnologia de MBBR, sendo assim, de leito móvel, utilizado biomédias de plásticas do tipo K1 da Marca Kaldness adquirido no mercado nacional, devido sua densidade, permanecendo assim suspenso no reator com locomoção livre, o volume usado de leito móvel em cada reator foi de 1,6 litros. A Tabela 3 apresenta todas as características das biomédias.

Tabela 2 - Características do meio de suporte utilizados nos reatores

| Característica | Valor | Unidade |
|-------------------------------|-------------------------------|--|
| Forma | Cilíndrica | - |
| Cor | Branco | - |
| Tamanho | 10 | mm |
| Material | Polietileno de alta densidade | |
| Densidade | 0,96 – 0,98 | g.cm ⁻³ |
| Superfície | >800 | m ² .m ⁻³ |
| Porosidade | >85 | % |
| Relação de dosagem | 15-65 | % |
| Tempo de Formação de membrana | 3 - 15 | dias |
| Eficiência da nitrificação | 400 - 1200 | g NH ₄ ⁺ -N.m ⁻³ .d ⁻¹ |
| Eficiência BOD5 | 2000 - 10000 | g BOD5.m ⁻³ .d ⁻¹ |
| Eficiência COD5 | 2000 – 15000 | g COD5.m ⁻³ .d ⁻¹ |
| Temperatura aplicável | 5 - 60 | °C |
| Tempo de vida | 15 | anos |

Fonte: NIHAOWATER, 2023.

O leito móvel foi definido devido sua maior facilidade de operação, pois reduz as zonas mortas ou a colmatação, situações que são comuns em leitos fixos e que reduzem a eficiência dos reatores (NOCKO, 2008). Neste aspecto, a biomassa tem a possibilidade de se desenvolver tanto de forma aderida quanto de forma suspensa. Para melhor desenvolvimento da biomassa e maior eficiência no processo de nitrificação e desnitrificação, os reatores foram dispostos conforme a Figura 1, assim como o fluxo do efluente.

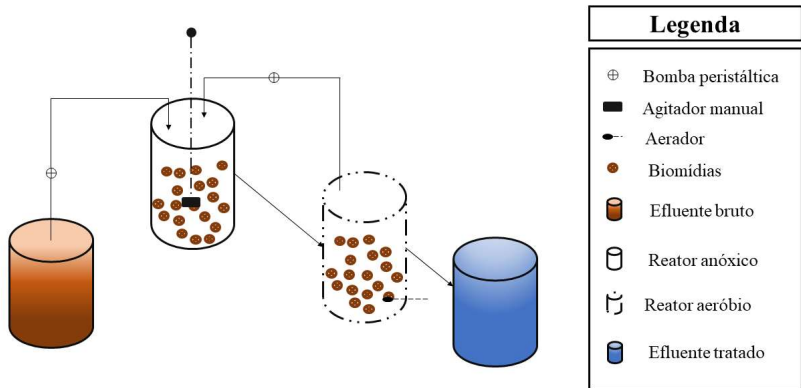


Figura 1 - Layout do sistema de tratamento.

O reator anóxico foi instalado um agitador manual, devido a necessidade de a biomassa estar sempre em contato com o efluente, possibilitando assim a movimentação das biomédias no interior do reator. Já no reator aeróbio, a agitação das biomédias era proporcionada através da inserção de ar com um compressor, apenas no período de ensaio, o reator aeróbio, contou com o auxílio de um agitador manual. Para manter a circulação do efluente dentro dos reatores, foram instaladas bombas peristálticas, essa circulação serviu como base para aclimação dos reatores.

2.2 EFLUENTE SINTÉTICO

O efluente sintético foi desenvolvido a partir do estudo de Silva, et al (2013), considerando uma necessidade de adaptação do efluente sintético a realidade do efluente real coletado. Considerando uma necessidade de aclimação previa dos reatores adaptou-se o efluente sintético apenas para a formação e suporte de biofilme. A Tabela 2 apresenta os reagentes para a confecção de 20 litros do efluente sintético.

Tabela 3 - Reagentes utilizados para fabricar 20 litros de efluente sintético.

| Reagente | Quantidade (g) |
|--------------------------------|----------------|
| Leite em pó | 28,8 |
| Ureia | 54,0 |
| Cloreto de Amônio | 11,666 |
| Fosfato Monobásico de Potássio | 18,0 |
| Carbonato de Sódio | 6,0 |

| | |
|---|-------|
| Bicarbonato de Sódio | 15,6 |
| Sulfato Magnésio Hepta-hidratado | 12,0 |
| Sulfato Ferroso Hepta-hidratado | 0,48 |
| Sulfato de Manganês Hidratado | 0,48 |
| Cloreto de Cálcio Diidratado | 0,720 |

Fonte: Silva, *et al* (2013)

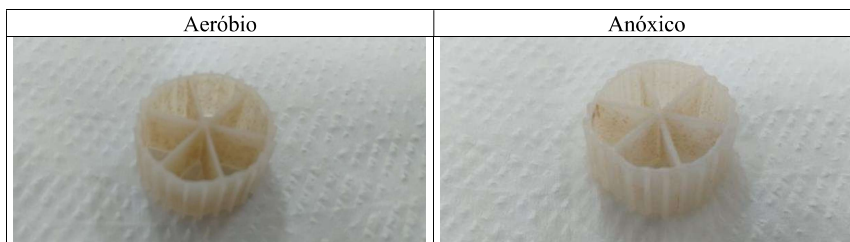
2.3 ACLIMATAÇÃO

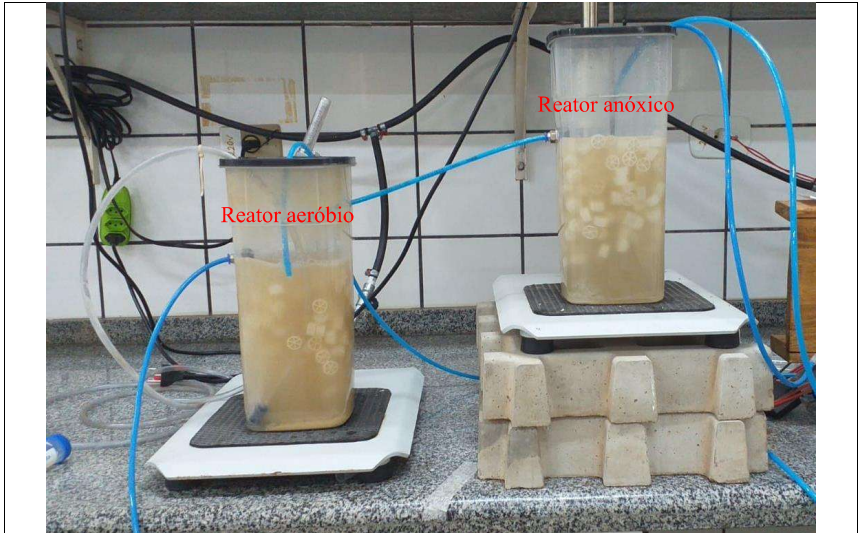
A aclimatação do reator é um processo importante no tratamento de águas residuais, cujo objetivo é adequar a biomassa contida no reator às condições de operação. Isso é feito para aumentar a eficiência do processo e reduzir a possibilidade de erros do sistema.

Durante a aclimatação, a biomassa é gradualmente exposta às condições operacionais do reator, como pH, temperatura, vazão, carga orgânica, concentração de nutrientes, entre outros parâmetros. Neste trabalho o processo é dividido em duas etapas, adaptando progressivamente a biomassa às condições de operação.

Na primeira etapa, deste processo nos reatores, foram alimentados com efluente sintético, sendo produzido na proporção de 1 : 2 (um para dois). Tal processo, deu suporte para o desenvolvimento de uma fina camada de biomassa nas biomédias assim como biomassa suspensa no interior dos reatores, o Quadro 1 apresenta biomédias provenientes do reator Aeróbio e Anóxico, destacando as pequenas colônias de bactérias presentes no suporte. O quadro 1 apresenta as biomédias no primeiro estágio da aclimatação, assim como uma visão geral do reator em funcionamento.

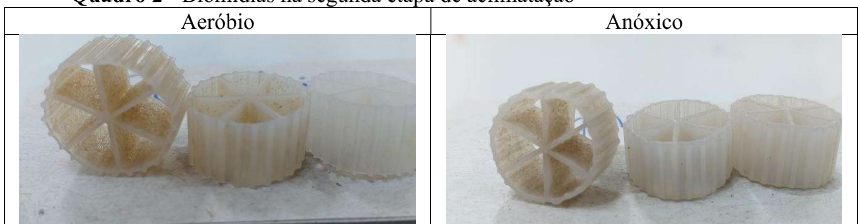
Quadro 1 - Biomédias na primeira etapa de aclimatação

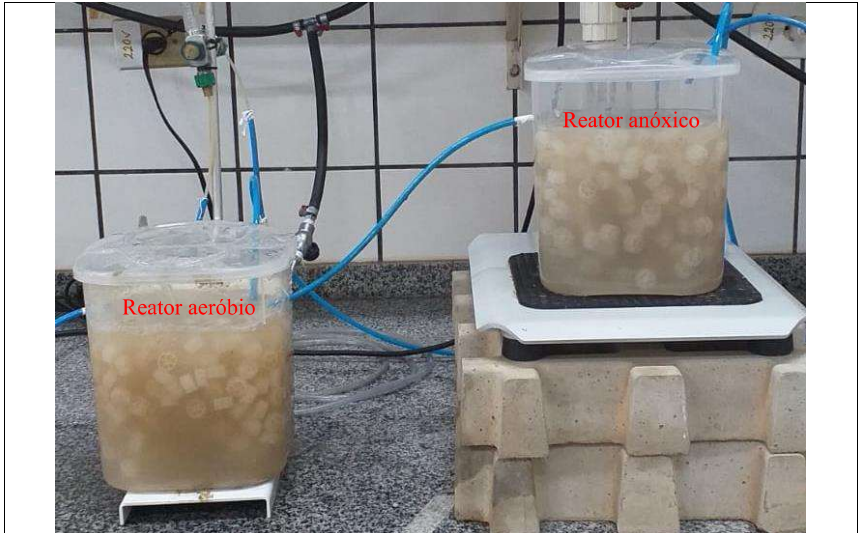




A segunda etapa da aclimação ocorreu com a inserção do efluente sintético sem diluição pré-tratado, proveniente de um reator anaeróbio, esse processo colaborou para maior desenvolvimento das biomassas tanto aderida quanto em suspensão, o Quadro 2 apresenta as biomédias no segundo estágio da aclimação, bem como uma visão dos reatores em funcionamento.

Quadro 2 - Biomédias na segunda etapa de aclimação





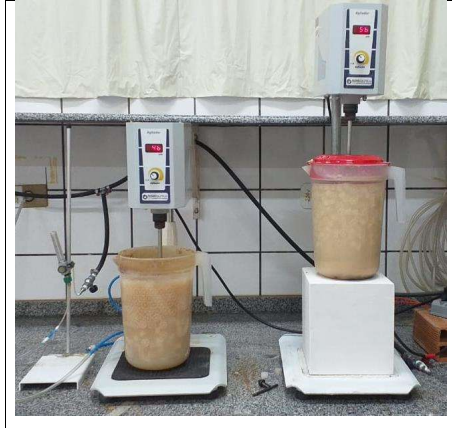
Ao analisar os reatores do modo geral conforme as imagens a cima, pode-se observar a existência de biomassa em sua forma suspensa, assim como de forma aderida as biomédias, apresentando o desenvolvimento do reator

O processo de aclimação durou 9 meses, no entanto os reatores não chegaram ao seu ponto máximo de eficiência de remoção, mas já apresentavam remoção considerada da carga de nitrogênio e carbono. Durante a aclimação, é importante monitorar regularmente a eficiência do processo de tratamento para detectar qualquer problema ou falha.

Neste aspecto os reatores passaram por adaptação no formato em três etapas distintas, buscando a melhor remoção, visto que nos dois primeiros formatos adotados foram observados problemas hidrodinâmicos, destacando a mistura do efluente e contato com a biomassa, é importante destacar também que reatores em formato prismático detém maior perda de carga reduzindo assim a eficiência dos reatores. O Quadro 3, apresenta o formato final dos reatores, o mesmo que foi realizado os ensaios de remoção, melhor explicados a frente.

Quadro 3 - Aparências dos reatores durante o processo de ensaio de remoção

| |
|-------------------|
| Aeróbio / Anóxico |
|-------------------|



Além da necessidade de ajustes no formato do reator, realizando a troca das tentativas iniciais em mantê-lo em formato retangular, para forma cilíndrica para melhor distribuição do fluxo reduzindo de forma mais significativa as zonas mortas, medidas corretivas de pH foram necessárias durante este período, sendo utilizado como substância corretiva bicarbonato de sódio (NaHCO_3), no reator aeróbio, devido ao baixo pH que era recorrente no início da aclimação. O pH mais ácido é um subproduto da decomposição da matéria orgânica presente no efluente de laticínio (MORAIS, 2022).

Se ocorrerem problemas, como uma queda na eficiência do tratamento, medidas corretivas podem ser tomadas para ajustar as condições de operação. Esses problemas foram acompanhados por meio da realização de análises periódicas do sistema, avaliando suas concentrações de nitrogênio e carbono. Neste aspecto a biomassa é exposta a condições suaves, como baixas concentrações de nutrientes e baixas cargas orgânicas. Isso permite que as bactérias presentes no reator se ajustem às novas condições e se proliferem. À medida que a biomassa se adapta, as condições de operação são gradualmente modificadas, aumentando a carga orgânica e a concentração de nutrientes.

Durante a aclimação, foram analisadas periodicamente as concentrações de nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e demanda química de oxigênio, para determinar se os reatores poderiam receber cargas maiores dos mesmos, chegando assim em estado adequado para a realização dos ensaios de remoção.

As análises de demanda química de oxigênio, foi realizada para determinar o comportamento dos reatores em relação ao consumo de matéria orgânica, sendo a carga orgânica uma fonte poluidora alta; que pode ocasionar eutrofização no corpo receptor durante

o lançamento do efluente pós tratamento. Esses dados serão discutidos de forma individual em tópico seguinte devido sua importância.

2.4 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente base para o estudo é proveniente de um laticínio do estado de Rondônia, sendo coletado em uma lagoa aeróbia, devido a presença de bactérias nitrificantes. In loco foram realizadas as análises de pH, condutividade, temperatura. Em laboratório foram demais análises de nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal, a fim de compreender melhor as características do efluente. O mesmo foi mantido em refrigeração para preservação da amostra.

Devido a necessidade de controle da carga orgânica de entrada nos reatores, bem como as concentrações de nitrogênio em cada etapa do desenvolvimento dos reatores, optou-se pela produção de efluente sintético, podendo assim ter maior controle da composição química e física do mesmo; padronizando assim, as condições experimentais. A utilização de efluente real poderia acarretar na variação das características do efluente de entrada, dificultando assim a comparação dos resultados principalmente na fase de aclimação.

Esse trabalho foi desenvolvido em parceria com dois outros, um que trabalha com remoção de matéria orgânica em processo anaeróbio, onde esse estudo teve como objetivo de remover a matéria orgânica residual e principalmente na remoção de nitrogênio e o outro que trabalha com o efluente por estudo produzido para a remoção de poluentes adicionais, no entanto tais dados de estudos, não entram neste trabalho.

O efluente sintético passou por um tratamento prévio em reator anaeróbio, o qual não entrará neste estudo, no entanto seus parâmetros são base para o seu desenvolvimento. A Tabela 5 apresenta a caracterização do efluente sintético tratamento prévio.

Tabela 4 - Caracterização do efluente sintético com tratamento prévio.

| Parâmetros | Valores |
|---|---------|
| Temperatura (°C) | 28 |
| pH | 7,8 |
| DQO (mg.L ⁻¹) | 2480 |
| NH ₄ ⁺ -N (mg.L ⁻¹) | 1251,8 |
| NO ₂ ⁻ -N (mg.L ⁻¹) | 0 |
| NO ₃ ⁻ -N (mg.L ⁻¹) | 8,39 |
| NT inorgânico (mg.L ⁻¹) | 1260,19 |

Como visto o efluente é rico em carga orgânica apresentando DQO de 2480 mg.L⁻¹ e de nitrogênio, na forma de nitrogênio amoniacal, apresentando valores de 1251,8mg.L⁻¹. Sendo

nesses casos preferível processo biológico em detrimento ao processo físico-químico, visto que ser um efluente reconhecido com grande potencial de depuração por vias biológicas.

Dentre as tecnologias possíveis para o seu tratamento o MBBR em reatores anóxico e aeróbios apresentam grande vantagens, alta eficiência e um menor tempo em comparação a processos biológicos convencionais, como lagoas. A eficiência do processo MBBR é condicionada por condições operacionais como a taxa de enchimento (FR) e oxigênio Dissolvido (OD). FR é a razão entre o volume ocupado pelos suportes e o volume total do reator — VS/VR (SANTOS, et al., 2020).

Neste aspecto, será observado a remoção de nitrogênio amoniacal e nitrito por meio de ensaios de remoção com concentrações conhecidas, avaliando assim a eficiência dos reatores no processo de nitrificação e desnitrificação; tal método foi adotado devido a diversas interferências ao longo do processo de aclimação dos reatores, viabilizando assim a determinação dos parâmetros.

2.5 METODOLOGIA ANALÍTICA

Para as metodologias analíticas adotou-se aos parâmetros de pH, temperatura, condutividade, DQO, nitrogênio amoniacal, nitrito. As metodologias analíticas estão descritas nos tópicos a seguir.

2.5.1 pH, Temperatura e Condutividade

As análises de potencial hidrogeniônico, condutividade, oxigênio dissolvido e temperatura foram realizadas através do medidor multiparâmetro Hanna modelo NOVA e a AK88 da Marca AKSO Para obter estes resultados bastas colocar as sondas no efluente de estudo e aguardar sua estabilização.

2.5.2 Demanda Química de Oxigênio

A DQO representa a quantidade de oxigênio gasto na degradação de compostos orgânicos presentes na amostra. Para a determinação da DQO utiliza-se o método descrito em APHA (2005), método de refluxo fechado (5220 D), que consiste na adição de solução digestora contendo dicromato de potássio (K_2Cr_2O) e sulfato de mercúrio (Hg_2SO_4); e solução catalítica, composta por sulfato de prata (Ag_2SO_4) e ácido sulfúrico (H_2SO_4), em uma alíquota da amostra em um tubo de ensaio; após a adição dos reagentes a amostra é levada a placa digestora a $150^\circ C$, da marca Dry-Block Modelo SL-16, por duas horas.

Após a digestão, as amostras são retiradas da digestora e aguarda-se a perda de calor da mesma até alcançar temperatura ambiente, em seguida é realizada a leitura no espectrofotômetro em 600 nm referente a DQO alta e 420 nm referente a DQO baixa; a partir da medição de absorvância no espectrofotômetro Vis modelo UV1100 é possível determinar a concentração de DQO. Os resultados obtidos de absorvância no espectrofotômetro são convertidos em concentração de DQO, através da curva de calibração feita a partir de Bifatalato de Potássio ($C_8H_5KO_4$).

2.5.3 Nitrogênio Amoniacal

Para a determinação da concentração de amônia (NH_4^+) será utilizado o Método Nesler 4500C (APHA, 1995), que consiste na adição do reagente Nesler, composto por iodeto de mercúrio-II (HgI_2), iodeto de potássio (KI) e hidróxido de sódio (NaOH), em uma amostra; após a adição do reagente Nesler agita-se a amostra e aguarda 10 minutos para reação e leitura no espectrofotômetro em 425 nm. Os resultados da absorvância obtido nesta análise é convertido em concentração de amônia através da curva de calibração feita utilizando Cloreto de Amônio (NH_4Cl).

2.5.4 Nitrito

Para a determinação de nitrito será utilizado a Método Colorimétrico do Reagente NED 4500 $NO_2 - B$ (APHA, 2012). A análise consiste na adição dos reagentes sulfanilamida e reagente N-1-Naftil, após o tempo de reação de 10 minutos é realizado a leitura da amostra reagida para Nitrito em 543 nm no espectrofotômetro. A curva de calibração para a determinação da concentração de Nitrito através dos resultados da Absorvância é feita com nitrito de sódio ($NaNO_2$) e nitrito de potássio (KNO_2).

2.5.5 Nitrato

O método adotado para a determinação do Nitrato foi o Método Colorimétrico Brucina (352,1) (APHA, 1976). Tal análise utilizasse de soluções de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e água destilada e soluções de brucina, composta por sulfato de brucina ($(C_{23}H_{26}N_2O_4)_2H_2SO_4 \cdot 7H_2O$), ácido sulfanílico ($NH_2C_6H_4SO_3H$) e ácido clorídrico (HCL).

É adicionado a amostra o reagente de Brucina e ácido sulfúrico, aguardasse 10 minutos em ambiente desprovido de luz; adiciona água destilada e aguarda novamente por 20 minutos em ambiente desprovido de luz. Após este período é realizado a leitura no espectrofotômetro

em 410 nm. Para determinar a concentração de Nitrato através deste método utiliza-se a curva padrão feita com Nitrato de Potássio.

2.6 ENSAIOS DE REMOÇÃO

Para os ensaios foram adotadas concentrações bases de remoção de 50 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N e NO₂⁻-N. Na confecção do reagente de nitrito foi utilizado Nitrito de Sódio, para a solução de nitrogênio amoniacal, foi utilizado cloreto de amônio. Para a melhor remoção dessas concentrações, estabilizou os reatores aos seguintes parâmetros descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros ideais para melhor remoção de nutrientes nos reatores

| Parâmetro | Reator Aeróbio | Reator Anóxico |
|---|----------------|----------------|
| pH | 7,2 a 8 | 7 a 7,5 |
| Temperatura (C°) | 30 | 30 |
| Oxigênio Dissolvido (mg.L ⁻¹) | 2 a 4 | Próximo a zero |
| Agitação (RPM) | 60 | 20 |

Fonte: Sant'Anna Jr, 2013.

Durante os ensaios, as sondas multiparâmetros ficaram inseridas nos reatores para a verificação da estabilização dos parâmetros mencionados na tabela a cima. Ambos os reatores foram mantidos em banho maria para controle de temperatura, já o controle de pH foi realizado mediante soluções de bicarbonato de sódio e ácido sulfúrico.

Após a estabilização desses parâmetros nos reatores, uma alíquota de 10 ml foi retirada para análise das concentrações iniciais inseridas, sendo realizada análise de nitrogênio amoniacal na amostra proveniente do reator aeróbio e nitrito na amostra proveniente do reator anóxico. Ao longo do ensaio de remoção foram retiradas alíquotas de 10 ml a cada 60 minutos de ensaio de ambos os reatores, a partir dessas amostras foram analisados novamente as concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito. Durante os ensaios foi observado a necessidade de centrifugação das amostras, devido a interferências proveniente da biomassa em suspensão.

Visando a melhor estabilização dos reatores, adicionou-se 0,65 ml de metanol (CH₃OH) no reator anóxico para obter a quantidade ideal de matéria orgânica para a desnitrificação. Visto que a remoção da matéria orgânica já estava em seu máximo de eficiência, isto ocorre devida a alta taxa de crescimento das bactérias removedoras de matéria orgânica.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Nesta etapa do trabalho, sera apresentados os resultados encontrados através das metodologias aplicadas no tópico anterior, assim como discursões a respeito dos valores obtidos.

3.1 REMOÇÃO DE NITROGRNIO AMONIALCAL

Devido as dificuldades na utilização das baixas vazões, se verificou vantagens nas aplicações de teste em batelada para retirar as taxas de remoção dos nutrientes, visto que estas limitações operacionais, gerou dezenas de problemas (bomba com ausência de entrada, mangueira cortada pelo atrito, rompimento, volume maior que estipulado e afins), assim buscou fazer para retirar parâmetros de eficiência do processo. Como será discutida neste tópico e nos outros.

A nitrificação é um processo com elevado tempo de crescimento celular, comparado os organismos heterotróficos, que removem a DBO, devido ao baixo crescimento das bactérias nitrificantes, isso fez com que o período de aclimação de 9 meses sem ainda condições de excelência, sendo necessário um maior tempo, onde a faixa de remoção de nitrogênio amoniacal variou entre 60 a 90%.

Segundo Von Sperling (2005), para lagoas de estabilização a taxa de nitrificação está entre 0,03 a 0,2 kg N.ha⁻¹.d⁻¹, em comparação com autores que tratam do processo de nitrificação em reatores aeróbios que encontram taxas semelhantes e/ou superiores a esses valores; vale ressaltar que ambos os processos são biológicos, o que os diferenciam é a eficiência no que se refere ao tempo de detenção hidráulico e espaço necessário para a realização do tratamento.

Tal remoção ocorre no interior do reator aeróbio, sendo responsável pela conversão de nitrogênio amoniacal em nitrito e em seguida nitrato. Segundo Liu et al. (2019) os reatores aeróbios podem alcançar altas taxas de remoção de nitrogênio, podendo chegar a 90%, no entanto esses valores são determinados pela estabilização dos parâmetros de condições ótimas do reator e da concentração de nitritos e nitratos e seu interior.

Durante o ensaio de remoção de nitrogênio amoniacal, as condições ótimas foram asseguradas e mantidas em constância (pH 7,2, temperatura de 30°C e OD>4mg.L⁻¹) presentes na figura 2, proporcionando assim as melhores condições de remoção, mesmo a biomassa do interior do reator sendo jovem e não estando em sua total eficiência. Outra característica

importante observada no reator foi a maior concentração de biomassa em forma suspensa do que aderida, apontando mais uma vez a jovialidade do reator.

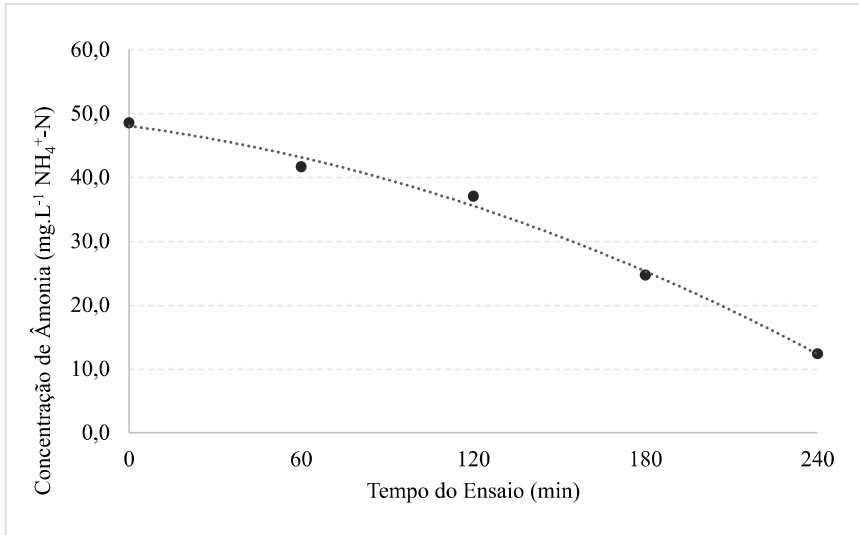


Figura 2 - Ensaio de remoção de Nitrogênio Amoniacal no Reator Aeróbio

Com tais características o reator apresentou a taxa de remoção de 9,025 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N por hora ou 216,6mg por dia por litro de reator, esses valores apresentam conformidade com os estudos realizados Gonçalves (2017) que encontrou valor de 72%, saindo de concentração de nitrogênio amoniacal de 30 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N para 7 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N. Valores semelhantes foram encontrados no estudo de Nonaka et al. (2019) que encontra valore de 17 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N após o tratamento que contém concentração de 47 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N. Sendo esses valores obtidos na Fase I dos respectivos experimentos, que são descritos como período de desenvolvimento inicial dos reatores, essencial para o desenvolvimento primário da biomassa.

Já Oliveira (2015), apresenta em duas fases de estudo o decréscimo de eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal, saindo de uma eficiência de 71% para 54 %, segundo a autora essa redução é derivada da redução na concentração de oxigênio dissolvido, onde na fase I a concentração adotada foi de 4,5 mg.L⁻¹ de OD e na fase II 2,4 mg.L⁻¹ de OD; mostrando assim a importância das condições ótimas mesmo em fase inicial do desenvolvimento do reator.

Diante do exposto, ao analisarmos o estudo de Rodrigues (2016), sobre a taxa de remoção de lagoas de estabilização em seu estado otimo de remoção, observa-se uma remoção

total de nitrogênio amoniacal de 60%, ou seja saindo de 32 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N para 16 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N.

A partir dos valores encontrados pode-se determinar a taxa de remoção bem como o TRH necessário, para remoção de cargas nitrogenadas reais, considerando a remoção de 9,025 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N por hora, a tabela 6 apresenta parâmetros iniciais para dimensionamento.

Tabela 6 - Parâmetros para dimensionamento inicial do reator aeróbio

| Parâmetro | Valor |
|--|-------|
| Taxa de Remoção (mg.L ⁻¹ .dia ⁻¹ de NH ₄ ⁺ -N) | 216,6 |
| Tempo de Retenção Hidráulica (dia) | 5,78 |

Diante da seguinte taxa de remoção, para o efluente estudado observou-se a necessidade de TRH de 5,78 dias para a nitrificação total de nitrogênio amoniacal de entrada, sendo a entrada de 1251,8 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N, considerando a remoção diária de 216,6 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N. Para esse valor de TRH, Silva (2010) apresenta uma redução para 3 mg.L⁻¹ de NH₄⁺-N, com 5 dias de TRH para concentrações de entrada semelhantes ao do presente estudo, apresentando assim a eficiência do reator.

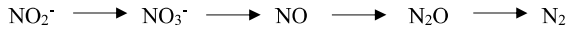
Na reação completa de nitrificação ocorre o consumo de oxigênio na proporção para cada grama de N-NTK afluente, consome-se 4,57 g de O₂ para a conversão de g N-NO₃⁻ (LIMA, 2014). Nitrificação completa é observada quando a concentração de nitrogênio amoniacal esta inferior a 2 mg.L⁻¹ e Nitrito 0,5 mg.L⁻¹, situação a qual o reator alcançou com quatro horas de ensaio.

Neste aspecto, os resultados obtidos para a remoção de nitrogênio amoniacal durante o estudo são altamente significativos e estão em total conformidade com os limites exigidos pelo CONAMA 430/2011. Ao alcançar os limites estabelecidos, demonstra-se que o tratamento aeróbio em conjunto com a tecnologia MBBR é eficiente na remoção de nitrogênio amoniacal presente nos efluentes industriais.

3.2 REMOÇÃO DE NITRITO

O ensaio de remoção de nitrito foi realizado no interior do reator anóxico com concentração inicial estimada de 50mg NO₂⁻-N, devido seu potencial e converter no nitrito em nitrogênio gasoso por meio da desnitrificação, liberando assim o nitrogênio de forma não poluente a atmosfera, visto que a presença de nitrato e nitrito pode ser prejudicial ao meio

ambiente, bem como a saúde humana (GOMES, et al. 2021). A equação a seguir apresenta de forma resumida o funcionamento desta reação.



Na figura 3 é observado o ensaio de remoção de nitrito, onde é observado que após 4 horas apresentou remoção total de nitrito ($<0,1\text{mg.L}^{-1}$), sendo assim consolidado os valores de material orgânico adicionado (metanol no volume de $0,1625\text{mL.L}^{-1}$ com concentração de 60mg.L^{-1} C- CH_3OH), sendo que a relação razão entre carbono e nitrogênio é em geral 1:1 para desnitrificação (SANTOS, 2003).

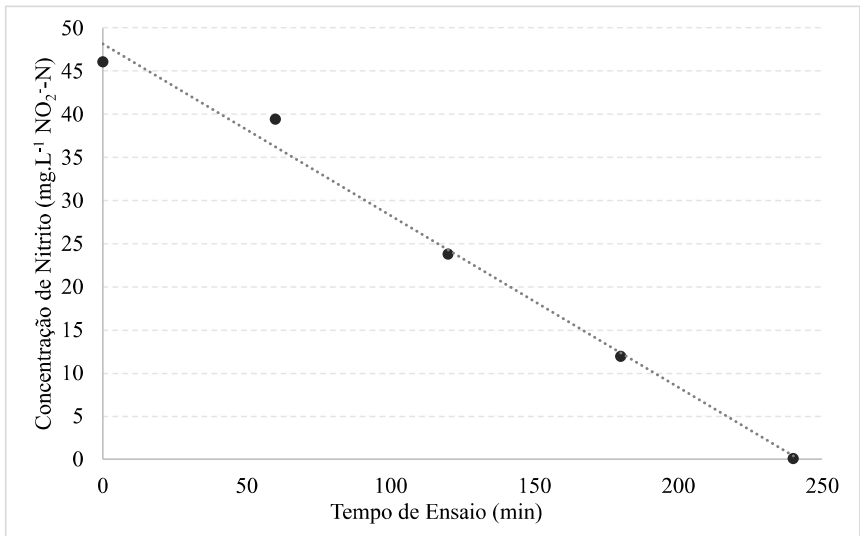


Figura 3 - Ensaio de remoção de Nitrito no Reator Anóxico

Considerando que ao converter todo valor do nitrogênio amoniacal ($1251,8\text{mg.L}^{-1}$) na etapa anterior (tópico 3.3) em nitrito, seria necessário um TRH de 4,43 dias, inferior à volume do tanque aeróbico. A tabela 7 apresenta parâmetros de dimensionamento essenciais para o reator anóxico, considerando a aplicação de entrada de efluentes reais.

Tabela 7 - Parâmetros para dimensionamento inicial do reator anóxico

| Parâmetro | Valor |
|--|-------|
| Taxa de Remoção ($\text{mg.L}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ de N- NO_2^-) | 282 |
| Tempo de Retenção Hidráulica (dia) | 4,43 |

Vale ressaltar que apesar de ser fundamental a remoção de nutrientes nos efluentes industriais, a CONAMA 430/2011 não determina tal remoção. Assim a taxa de remoção ficou em 11.75 mg.L^{-1} por hora e $282 \text{ mg.L}^{-1} \cdot \text{dia}$. Esta remoção condiz com o estudo de Wagner, et al (2015) que em um ensaio de 6 horas a redução de nitrito saiu de 40 mg.L^{-1} de $\text{NO}_2\text{-N}$ para $7,8 \text{ mg.L}^{-1}$ de $\text{NO}_2\text{-N}$.

Outro aspecto na escolha da ordem dos reatores é aproveitar o material orgânico no próprio efluente para a desnitrificação, que segundo os autores Cao (2014), por sua vez, mostra que essa relação depende das características do sistema e em seu estudo a relação C/N variou de $4,28 \text{ gDQO/gN}$ a $9,45 \text{ gDQO/gN}$, assim no efluente estudado há uma limitação de carbono, com uma relação de $1,92 \text{ gDQO/gN}$ e Matsumoto, Terrada e Tsuneda (2007) relatam que a eficiente remoção simultânea de C e N, mais de 80% foram obtidas com a relação C:N de 3,0.

Considerando as características do reator anóxico, é notável o seu alto desempenho na remoção de nitrito. O TRH (Tempo de Retenção Hidráulica) e a taxa de remoção do reator asseguram um tempo adequado de contato entre os contaminantes e os microrganismos presentes, resultando em uma remoção eficiente dos poluentes. É importante destacar que, mesmo a CONAMA 430/2011 não estabelecendo valores limite específicos para nitrito em efluentes industriais tratados, o valor obtido após o ensaio de remoção está abaixo do limite permitido para nitrogênio amoniacal total.

Isso indica que o reator anóxico é capaz de atingir níveis de remoção satisfatórios, contribuindo para a melhoria da qualidade dos efluentes tratados. Esses resultados demonstram a eficácia e a adequação do reator anóxico como uma solução viável para o tratamento de nitrito em diferentes setores industriais.

3.3 REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA

Devido à alta carga orgânica encontrada em efluentes de laticínio, observou-se a concentração de DQO durante o período de aclimação dos reatores, avaliando assim a remoção desta carga orgânica, os dados aqui discutidos são referentes a 13 semanas de aclimação sendo analisado o efluente de saída dos reatores. A Figura 4 apresenta tais dados de DQO, descrevendo a remoção obtida.

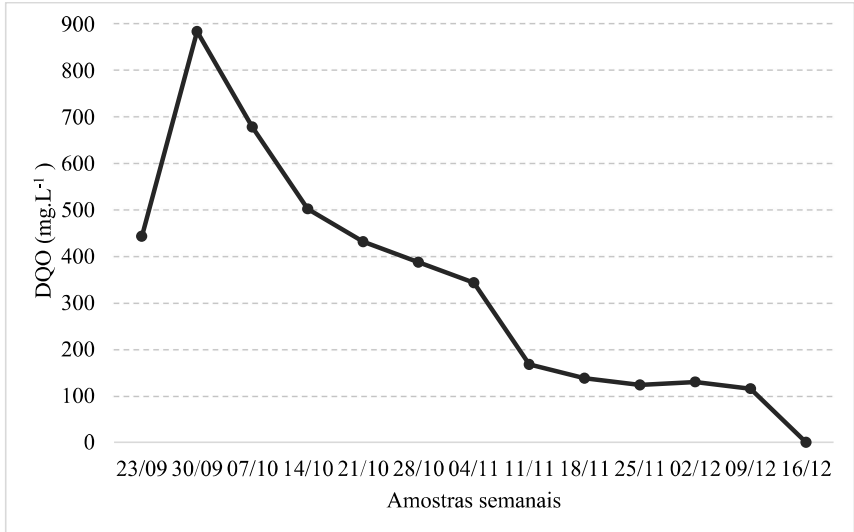


Figura 4 - Demanda química de oxigênio durante o processo de aclimação

Como apresentado na figura, após 13 semanas de desenvolvimento dos reatores, a concentração obtida de DQO do afluente foi inferior a 50 mg.L^{-1} , observando que a DQO de saída é inferior a de entrada do reator, sendo a mesma de 2480 mg.L^{-1} de DQO

Embora a Conama 430 de 2011 não estabeleça valores para DQO, ela delimita padrões de carga orgânica para efluentes industriais em forma de demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Sendo determinado “remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor” (BRASIL, 2011).

Segundo Melo (2022) a diferença entre a DBO e DQO é dada pela forma de oxidação da matéria orgânica, enquanto a DBO utiliza de meios biológicos para o processo de oxidação a DQO utiliza de compostos químicos, onde degrada também matéria inorgânica, incluso compostos químicos.

As altas taxas de remoção orgânica em processos de tratamento biológico podem ser atribuídas em parte ao desenvolvimento de espécies bacterianas responsáveis pela degradação de compostos orgânicos. Conhecidas como bactérias decompositoras, essas bactérias têm habilidades metabólicas superiores às bactérias nitrificantes e bactérias desnitrificantes, e são explicadas por terem alta eficiência na remoção de matéria orgânica mais rapidamente (MAIA, 2022).

Bactérias oxidadoras de matéria orgânica podem usar uma variedade de compostos orgânicos como fontes de carbono e energia para o metabolismo. Essas bactérias são metabolicamente versáteis e possuem enzimas especializadas capazes de quebrar uma variedade de substratos orgânicos complexos, como proteínas, carboidratos e lipídios.

A remoção da carga orgânica por meio da DQO no período inicial de análise chegou a 82,6 % no primeiro mês de aclimatação, sendo uma remoção considerada aceitável encontrando valores semelhantes nos estudos de Alberti (2020), que obteve taxa remoção de 90% na Fase I do seu estudo. Ao acompanhar o desenvolvimento do reator obteve-se na última análise remoção superior a 97%, tal valor é corroborado por meio do estudo de Silva (2018) e Alberti (2020), obtiveram taxa de remoção de 94% e 96% respectivamente nas Fase III desenvolvimento de seus reatores.

Apesar dos parâmetros estabelecidos pela CONAMA 430/2011 para a matéria orgânica serem baseados na demanda bioquímica de oxigênio (DBO), as concentrações de demanda química de oxigênio (DQO) encontradas foram consideradas satisfatórias, levando em conta que os reatores não estavam operando em sua condição ideal. Esse sistema integrado de tratamento demonstrou sua eficiência ao remover completamente a matéria orgânica presente nos efluentes. Esses resultados ressaltam a capacidade do sistema aeróbio-anóxico em remover de forma efetiva e completa a matéria orgânica, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a obtenção de efluentes tratados de alta qualidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da análise de remoção das concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito, pode-se observar que os reatores apresentam eficiência considerável de remoção, com 4 horas de ensaio, chegando a concentrações aceitáveis pela legislação vigente. Isso se estende a concentração de matéria orgânica, que também foi removida de forma considerável.

O sistema MBBR para tratamento de efluente de laticínio apresenta grande potencial, porém o processo de aclimação deve ser acelerado. Apresentou taxas de remoção de nitrogênio amoniacal próxima de $220 \text{ mg.L}^{-1}.\text{dia}$ de reator, e com taxas de desnitrificação de $282 \text{ mg.L}^{-1}.\text{dia}$ onde toda a matéria orgânica pode ser removida no processo anóxico; apresentando assim TRH de aproximadamente 5 dias, mesmo não estando em seu estado ótimo de operação.

Assim processos como esse devem ser implementados visando não apenas a nitrificação e desnitrificação, mas sim a remoção do nitrogênio para favorecer um ambiente equilibrado, a remoção de matéria orgânica para atender a normativas, visto que os resultados obtidos demonstram a viabilidade e eficácia do tratamento aeróbio em lagoas MBBR para remoção de nitrogênio amoniacal, oferecendo uma solução promissora e confiável para a indústria em conformidade com as regulamentações ambientais aplicáveis.

Recomenda-se que seja conduzido o referido estudo com a implementação da aclimação acelerada, com o intuito de maximizar a eficiência dos reatores. É proposto realizar o experimento mediante a introdução tanto de efluente sintético quanto de efluente real, a fim de viabilizar, a sua aplicação em indústrias do ramo laticinista. Tal abordagem permitirá uma análise mais abrangente dos parâmetros de desempenho, garantindo a obtenção de resultados robustos e de maior relevância científica para o setor industrial em questão.

REFERÊNCIAS

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 14th Edition, Washington, USA, 1976.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 18th Edition, Washington, USA, 1992.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 21th Edition, Washington, USA, 2005.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 22st Edition, Washington, USA, 2012.

AZZOLINI J C e FABRO. L F. **Monitoramento da eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um laticínio da região meio-oeste de Santa Catarina**. Unoesc & Ciência-Joaçaba Vol 04. N1 P. 43 A 60, 2013.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357/2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em 10/06/2022 http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf. Acesso em: 10 junho 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011. Seção 1, p. 81-84. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Mais Pecuária: estratégias para o crescimento sustentável da pecuária no Brasil. Brasília: MAPA, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Selo Mais Leite. Brasília: MAPA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/selo-mais-leite>. Acesso em: 03 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Selo Mais Leite. Brasília: MAPA, [s.d.]. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/selo-mais-leite>. Acesso em: 03 abr. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP - 2022)**. Disponível em:

[http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/VBP_10_2022\[1\].pdf](http://www.reformaagraria.mg.gov.br/images/documentos/VBP_10_2022[1].pdf). Acesso em: 11 de maio de 2023.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/leite>. Acesso em: 03 de abril de 2023

DEZOTTI, M; SANT'ANNA JR, G; BASSIN, J. P. **Processos Biológicos Avançados**: para tratamento de efluentes e técnicas de biologia molecular para o estudo da diversidade microbiana. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

DIAS, O.A, et al. **Lodo de indústria de laticínios:requisito para disposição no solo, Lodo**. IX SBEA, Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2018.

FILHO, E, N, G. **Análise Da Eficiência De Um Sistema Com Reatores De Leito Móvel Com Biofilme (MBBR) Na Remoção De Matéria Orgânica E Nitrogênio De Um Efluente De Laticínio**. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Ambiental. Fundação Universidade Federal de Rondônia.

GIEHL, A. L.; MARCONDES, T.; MONDARDO, M. Proporção de Bezerros Machos e Fêmeas Nascidos em Santa Catarina: dimensionamento e efeitos de práticas de manejo da pecuária leiteira sobre os resultados. XV Encontro de Economia Catarinense, 2022.

GOMES, Larissa Coelho **Auto et al. Nitrite build-up effect on nitrous oxide emissions in a laboratory-scale anaerobic/aerobic/anoxic/aerobic sequencing batch reactor**. Revista Ambiente & Água, v. 16, 2021.

GONÇALVES, V. J. L.; SILVA, L. R.; OLIVEIRA, L. S. Sustentabilidade na indústria leiteira brasileira. Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v. 7, n. 3, p. 211-228, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Pecuária Municipal: Tabela 7 - Produção de origem animal, por tipo de produto, segundo o Brasil, as Grandes Regiões e as Unidades da Federação. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=resultados>. Acesso em: 08 de abril de 2023

JÚNIOR, M. A. V.; DE AZEVEDO, F. G.; FERREIRA, F. G. D. **Tratamento de Efluentes Proveniente de Indústria de Bebidas Através da Associação de Reatores Aeróbios**. Revista Eletrônica da Estácio Recife, 2020.

LIMA, F. **Biorreator Combinado Anóxico-Aeróbio De Leito Fixo Para Remoção De Matéria Orgânica E Nitrogênio De Efluente Lácteo**. Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas. Universidade Federal De Alfenas UNIFAL. Poços de Caldas. Minas Gerais. 2014.

Liu, Y., Ye, L., Zhu, X., Hu, Z., Zhang, H., & Huang, J. (2019). **Nitrogen removal performance and microbial community of a sequencing batch reactor treating real municipal wastewater**. Bioresource Technology, 289, 121722.

MACHADO, Paula Thainá Rodrigues. **Avaliação da aplicação da espécie Bacillus subtilis no tratamento de meio sintético com alta carga nitrogenada**. Dissertação de Mestrado

realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2021.

MAGNONI, D M , **Genotoxicidade, morfo em Astynax altiparanae expostos aos efluentes, bruto e quimicamente tratados, gerados no processo de anodização de alumínio.** 2019 Dissertação (Mestrado Biotecnologia Ambiental) Universidade Estadual de Maringá.2019.

MAGRI, M, E. **Nitrificação e pré-desnitrificação de esgoto sanitário no sistema: tanque anóxico + decanto-digestor + biofiltro aerado submerso com cascas de ostras como meio suporte.** Dissertação: Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

MAIA, Fernanda Cunha. **A Avaliação Da Influência Da Intermitência Na Aeração Sobre A Remoção De Nitrogênio De Um Reator De Bateladas Sequenciais Contendo Lodo Granular Aeróbio Tratando Esgoto Sanitário.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2022.

MATOS, Antônio Teixeira de. **Poluição Ambiental: impactos no meio físico.** Editora UFV, 2020.

MATSUMOTO, S.; TERADA, A.; TSUNEDA, S. (2007). Modeling of membrane-aerated biofilm: effects of C/N ratio, biofilm thickness and surface loading of oxygen on feasibility of simultaneous nitrification and denitrification. *Biochemical Engineering Journal*, v. 37, n. 1, p. 98-107.

MELO, G. B. Determinação e correlação dos parâmetros demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total em águas superficiais. 2022. Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal do Ceará, 2022.

METCALF e EDDY. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. New York: McGraw-Hill, 1334 p, 2003

MISHRA, A. K.; DASH, R. R.; YADAV, R. K.; NATH, S. K. Dairy wastewater treatment and reuse: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 303, p. 115-130, 2022. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.117150.

MORAES, Alessandra Stephany Bezerra de. **Correlação entre os três métodos de quantificação de matéria orgânica: demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e carbono orgânico total, para análise de biofertilizantes derivado da biodigestão anaeróbica.** Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Química Bacharelado da Universidade Federal do Ceará 2022.

MORAIS, Juliana Cardoso de. **Remoção de Matéria Orgânica e Nitrogênio em Reator Compartmentado Anaeróbio/Anóxico e Aeróbio Tratando Esgoto Doméstico.** Tese apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. Recife – PE, 2015.

NADERLOO, L.C.; BAPTISTA NETO, J.A.; RAMOS, A.M. Impactos ambientais do descarte de efluentes de laticínios: um estudo de caso no município de Ubá/MG. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 22, n. 1, p. 224-233, 2018.

NIHAOWATER. Meios filtrantes MBBR. Disponível em: <https://www.nihaowater.com/product/mbbr/>. Acesso em: 04 de abril de 2023.

NOCKO, L. M. **Remoção de carbono e nitrogênio em reator de leito móvel submetido à aeração intermitente**. 2008. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, Daniel Vieira Minegatti de. Avaliação da remoção de nitrogênio via nitrificação e desnitrificação simultânea em um reator biológico com leito móvel (IFAS). 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, J. C. V.; SANTOS, J. S. S. Leite no Brasil: um setor em transformação. Brasília: Embrapa, 2019. (Documentos, 114).

RODRIGUES, Valéria Antônia Justino. **Influência do sedimento no processo de remoção de nitrogênio por nitrificação/desnitrificação em lagoas de polimento**. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SAAVEDRA FLORES, Rosa Yoreli; TEJADA REYES, Claudia Elizabeth. Efecto del tiempo de residencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas en un UASB cilíndrico. 2023.

SANTIAGO, V. M. J. COELHO, ELOISA, B. A. P. C.; ZANETTE, C. L.; ALMEIDA, J. H. C. Nitrificação em biodisco. **19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Foz do Iguaçu, Paraná, 1997.

SANTOS, E. D. Influência da Relação Carbono/Nitrogenio e da Fonte de Carbono no Processo de Nitrificação Desnitrificação Simultanea em Reator de Leito Estruturado. Dissertação – Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SANTOS, S. G. (2003). Utilização de metanol, etano e metano como doadores de elétrons para a desnitrificação. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SARAIVA, C. B.; MENDONÇA, R. C. S.; SANTOS, A. L.; PEREIRA, D. A. Consumo de água e geração de efluentes em uma indústria de laticínios. Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes, v. 64, n. 367, p. 10-18, 2009.

SILVA, Ana Cristina Ferreira Moreira da Tratamento de resíduos líquidos de laticínios em reator anaeróbio compartimentado seguido de leitos cultivados / Ana Cristina Ferreira Moreira da Silva. -- Campinas, SP: [s.n.], 2010.

SILVA, F.K. ; EYNG, J. **O tratamento de águas residuais de indústria de laticínios: um estudo comparativo entre os métodos de tratamento com biofiltro e com o sistema convencional de lagoas**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 1, n. 2, p. 4 – 22, out.2012/mar.2013.

SILVA, N. T. M. **Remoção de Carbono e Nitrogênio de Efluente de Matadouro em Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo**. 2018. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

TEIXEIRA, Ruan Otavio; BARRETO, Jhersyka Barros; DANTAS, José. **Avaliação De Sistema De Lagos De Estabilização No Semiárido Brasileiro**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 1, p. 295-311, 2021.

TEOBALDO, M. C. S. **Avaliação do Desempenho de Reatores Combinados Anaeróbio-Aeróbio na Remoção de Matéria Carbonácea Utilizando Diferentes Meios Suportes**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Departamento Acadêmico de Ambiental, Universidade Tecnológica Federal de Paraná. Campo Mourão. Paraná, 2017.

VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G. **O comportamento do sistema de lodos ativados – Teoria e aplicações para projetos e operação**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Paraíba, 1999.

Von Sperling, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WAGNER, Jamile; COSTA, Rejane Helena Ribeiro da. **Reator em bateladas sequenciais de grânulos aeróbios: estudo da formação dos grânulos e do efeito da duração do ciclo na remoção de carbono, nitrogênio e fósforo de esgoto doméstico**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 269-278, Jun. 2015.

ZHANG, P.; ZHOU, Q. Simultaneous Nitrification and Denitrification in Activated Sludge System Under low Oxygen Concentration. **Environmental Science Engineering**, v. 1, n. 1, p49-52, fev. 2007.