

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE LORENA

Johan Jasselli Freire P Rossini

**Teste de viabilidade da utilização do efluente comum da cidade de Lorena-SP para o cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* em reator batelada, visando o tratamento do efluente.**

Monografia apresentada à Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo como requisito parcial para conclusão da Graduação do curso de Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Robson da Silva Rocha

Lorena-SP  
2021

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE  
TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Automatizado da Escola de Engenharia  
de Lorena, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Rossini, Johan Jasselli Freire Pardo

Teste de viabilidade da utilização do efluente comum da cidade de Lorena-SP para o cultivo da microalga *Chlorella Vulgaris* em reator batelada, visando o tratamento de água a fim de atender os parâmetros de lançamento de efluentes exigidos pela legislação brasileira. / Johan Jasselli Freire P Rossini; Orientador Robson Rocha. - Lorena, 2021.

N p. 52

Monografia apresentada como requisito parcial para a conclusão de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. 2021

1. Microalgas. 2. *Chlorella vulgaris*. 3. Efluentes. 4. Tratamento de efluentes. 5. Reação batelada. I. Título. II. Da Silva Rocha, Robson, orient.

## Resumo

Com a crescente preocupação com o atual cenário ambiental, métodos de tratamento alternativos de água e efluentes estão ganhando visibilidade pelos cientistas e interessados. Nesse contexto, as microalgas têm se apresentado como um importante e efetiva catalisadora do processo, devido sua capacidade de captura de substâncias e processamento de matéria orgânica. Com base na literatura, esse trabalho busca descobrir experimentalmente essa efetividade; propõe-se aqui um fotobiorreator batelada para cultivo da microalga *Chlorella vulgaris* alimentada com efluente comum da cidade de Lorena-SP, a fim de avaliar experimentalmente a melhora de parâmetros analíticos do efluente. Busca-se atender a legislação de lançamento de efluentes a partir desse cultivo, alguns parâmetros analíticos de qualidade de água serão analisados para verificar a eficácia do tratamento proposto.

## Abstract

With growing concern about the current environmental scenario, alternative treatment methods for water and effluents are gaining visibility by scientists and stakeholders. In this context, the microalgae has been presented as an important and effective catalyst for the process, due to its capacity of catching substances and processing of organic matter. Based on the literature, this work seeks to discover this effectiveness experimentally; it is proposed here a continuous photobioreactor for the cultivation of the *Chlorella vulgaris* microalgae feed with common effluent from the city of Lorena, in order to evaluate experimentally the improvement of analytical parameters of the effluent. In order to comply with the legislation for the discharge of effluents from this crop, some analytical parameters of water quality will be analyzed to verify the effectiveness of the proposed treatment.

**Palavras Chave:** Tratamento de Efluentes, *Chlorella vulgaris*, Microalgas, Caracterização de Efluentes.

## Agradecimentos

Venho por meio desse agradecer a oportunidade recebida de ter toda estrutura necessária para concluir uma faculdade nos dias de hoje. Dou muito valor a todas as portas que se abriram, todos os aprendizados e dificuldades, eles me moldaram a ser o que sou hoje. Muita gratidão no coração e boas recordações.

Primeiramente quero agradecer aos meus pais Rodrigo e Patricia e toda a família que me deu apoio, e se sacrificou muito por mim, para eu poder bater minhas asas e buscar o que eu acredito. Muita gratidão e consideração, levo isso de coração para o resto de minha vida.

Segundamente quero agradecer a minha namorada e amigos, ou melhor, irmãos que adquiri nesse caminho, ambos estiveram comigo nos momentos mais difíceis e mais felizes. Levo cada um de vocês para vida.

Por fim, faço meus agradecimentos finais aos meus professores e todos os profissionais que colocaram escadas sob meus pés. Todos que participaram, desde docente a faxineiros, muito grato a vocês, cada um de vocês auxiliaram a uma grande mudança na minha vida. Professores, parabéns, admiro muito a profissão e a quem a usa com sabedoria. Obrigado a todos os mestres e magos desse caminho.

## Lista de Gráficos

- Gráfico 1 – Crescimento celular do inóculo
- Gráfico 2 – Crescimento celular dos experimentos
- Gráfico 3 – Acompanhamento da DBO
- Gráfico 4 - Acompanhamento da DQO
- Gráfico 5 - Acompanhamento do Ferro Dissolvido
- Gráfico 6 - Acompanhamento do Manganês
- Gráfico 7 - Acompanhamento do Nitrato
- Gráfico 8 - Acompanhamento do Nitrito
- Gráfico 9 - Acompanhamento dos óleos e graxas
- Gráfico 10 - Acompanhamento do Sulfato
- Gráfico 11 - Acompanhamento do Zinco

## Lista de Figuras

- Figura 1 - Sistema separador absoluto
- Figura 2 - Sistema unitário
- Figura 3 – *Chlorella vulgaris*
- Figura 4 – Dia da coleta
- Figura 5 – Efluente
- Figura 6 – Cepário de *Chlorella V.*
- Figura 7 – Preparação do meio BBM
- Figura 8 – Inóculo de 1L
- Figura 9 – Inóculo de 4L
- Figura 10 – Efluentes e Inóculo
- Figura 11 – Reatores prontos
- Figura 12 – Primeiro dia de cultivo
- Figura 13 – Decantação
- Figura 14 – Filtragem
- Figura 15 – Comparação Efluente Bruto x Tratado
- Figura 16 – Resultados da análise do efluente bruto
- Figura 17 – Resultado da análise do efluente tratado do experimento 1
- Figura 18 – Resultado da análise do efluente tratado do experimento 2
- Figura 19 – Resultado da análise do efluente tratado do experimento 3

## Lista de Tabelas

Tabela 1 – Parâmetros analíticos exigidos pelo CONAMA para lançamento de efluentes

Tabela 2 – Descrição do Meio BBM

Tabela 3 – Resultados das análises para o efluente bruto e diluído

## Lista de Quadros

Quadro 1 – Quadro dos Resultados obtidos

## Lista de Abreviaturas

BBM Meio Bold Basal

DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO Demanda Química de Oxigênio

OD Oxigênio Dissolvido

N-NH<sub>3</sub> Nitrogênio Amoniacal

N-org Nitrogênio Orgânico

ETE Estação de Tratamento de Efluentes

ETA Estação de Tratamento de Água

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	12
<b>1.1 Justificativa</b> .....	12
<b>1.2 Objetivo Geral</b> .....	13
<b>1.3 Objetivos Específicos</b> .....	13
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	14
<b>2.1 Efluente/Esgoto</b> .....	14
<b>2.2 Tratamento de esgoto</b> .....	15
<b>2.3 Legislação para o lançamento de efluentes</b> .....	16
<b>2.4 Caracterização das algas para cultivo</b> .....	18
<b>2.5 Microalga espécie <i>Chlorella vulgaris</i></b> .....	19
<b>2.6 Uso de Efluente como meio de cultivo</b> .....	20
<b>2.7 Tratamento de Efluentes com <i>Chlorella vulgaris</i></b> .....	21
<b>3. Materiais e Métodos</b> .....	22
<b>3.1 Microalgas</b> .....	22
<b>3.2 Caracterização da ETE</b> .....	23
<b>3.3 Inóculo</b> .....	24
<b>3.4 Submetendo ao tratamento</b> .....	27
<b>3.5 Decantação e filtração</b> .....	29
<b>3.6 Caracterização do efluente</b> .....	31
<b>4. Resultados e discussões</b> .....	31
<b>4.1 Acompanhamento do crescimento celular</b> .....	31
<b>4.2 Caracterização do efluente bruto</b> .....	32
<b>4.3 Parâmetros para o efluente diluído</b> .....	33
<b>4.4 Caracterização do efluente após Tratamento proposto</b> .....	34
<b>4.4.1 Caracterização do Experimento 1</b> .....	34

<b>4.4.2 Caracterização do Experimento 2</b>	35
<b>4.4.3 Caracterização do Experimento 3</b>	36
<b>4.5 Resultados para DBO</b>	37
<b>4.6 Resultados para DQO</b>	38
<b>4.7 Resultados para Ferro Dissolvido</b>	39
<b>4.8 Resultados para o Manganês</b>	40
<b>4.9 Resultados para o Nitrato</b>	41
<b>4.10 Resultados para o Nitrito</b>	42
<b>4.11 Resultados para Nitrogênio Amoniacal</b>	43
<b>4.12 Resultados para Óleos e Graxas</b>	43
<b>4.13 Resultados para o Sulfato</b>	44
<b>4.14 Resultados para o Sulfeto</b>	45
<b>4.13 Resultados para o Zinco</b>	46
<b>4.15 Discussão dos Resultados</b>	47
<b>5. Conclusão</b>	49
<b>6. Referências</b>	50

## 1. Introdução

A produção de esgoto é sempre crescente nas atividades humanas, seja de grandes conglomerados urbanos ou pequenas comunidades em áreas isoladas. Graças à intervenção humana, pôde-se acelerar o processo natural de tratamento de esgoto, que normalmente costuma ocorrer espontaneamente nos ecossistemas aquáticos da natureza. São geralmente os órgãos públicos que se encarregam de promover esse tratamento, e em alguns casos por iniciativas privadas (PROENÇA, 2016).

A lei federal 11.445 de 05 de janeiro de 2007 define as diretrizes nacionais de saneamento básico para a sociedade como um direito de todos. Entretanto, na situação em que o Brasil se encontra, esse saneamento de direito do cidadão não se apresenta disponível em todas as localidades. Em regiões mais carentes há falta desses elementos essenciais para o bem estar do ser humano, em especial o tratamento de esgoto, que em geral é uma infraestrutura urbana deficiente em regiões mais afastadas, em pequenas ou grandes cidades (ANDRADE, 2015).

Além da falta de tratamento em grande parte dos casos, o lançamento indiscriminado de águas residuárias de origem doméstica em corpos aquáticos contendo matéria orgânica, substâncias tóxicas, organismos patogênicos e nutrientes acarretam diversos danos ao ambiente e à saúde pública, podendo levar à eutrofização dos corpos hídricos. O aporte excessivo de fósforo e nitrogênio que compõe estas águas foi identificado como o primeiro culpado na causa da eutrofização, favorecendo a proliferação de cianobactérias que produzem toxinas, as quais promovem doenças (TUNDISI et al., 2006).

Pensando nessa problemática esse trabalho testa a viabilidade de utilizar microalgas, especificamente da espécie *Chlorella vulgaris*, como um método alternativo numa tentativa de obter um tratamento de efluente/esgoto sanitário comum, atendendo os parâmetros de lançamento de efluentes exigidos pelo CONAMA 430/2011.

### 1.1 Justificativa

Considerando toda essa temática de tratamento de águas residuais, no caso esgoto sanitário, e toda problemática da falta de tratamento e discriminação no lançamento do esgoto bruto aos mananciais, busca-se por esse trabalho aprimorar e desenvolver novos métodos e alternativas de tratamento de esgoto. Leva-se em conta custo e viabilidade industrial, que são parâmetros indispensáveis para qualquer investimento.

Esse método alternativo, embasado na literatura, utiliza o microrganismo algal *Chlorella vulgaris*, uma microalga de água doce, para fazer testes de sua eficiência no tratamento de esgoto bruto da cidade de Lorena- SP, tentando atender aos principais parâmetros de lançamento de efluentes exigidos pela legislação vigente.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia de Microalgas do Departamento de Engenharia Química da Escola de Engenharia de Lorena, em um fotobiorreator em batelada alimentado com efluente bruto fornecido pela Sabesp de Lorena- SP, e por luz artificial em todo o cultivo sem interrupções. Busca-se assim um processo com menos gasto de energia elétrica possível, com uma visão ambiental em todas as partes do processo, reduzindo rejeitos, gastos de energia, e gastos financeiros. Esse trabalho foi reproduzido em escala laboratorial, porém com intuito de auxiliar em futuros projetos de larga escala.

## **1.2 Objetivo Geral**

Testar a viabilidade do cultivo da microalga *Chlorella vulgaris*, no efluente gerado pela estação de tratamento de esgoto da cidade de Lorena-SP. Almeja-se avaliar a capacidade de diminuição de carga orgânica (baixa na carga de matéria orgânica), e retenção de substâncias dissolvidas e misturadas ao efluente, como Nitrato, Nitrito e possivelmente metais. Além disso busca-se viabilizar o cultivo controlado desta espécie cultivada nesse meio, assim como o melhoramento da qualidade da água residual após o cultivo. Ao final, checar se os parâmetros analíticos do efluente após o cultivo atendem aos determinados e exigidos pela legislação de lançamento de efluentes nos mananciais, vide CONAMA 430/11.

## **1.3 Objetivos Específicos**

- Avaliação do crescimento da microalga *Chlorella vulgaris* no efluente da estação de tratamento de esgoto da cidade de Lorena;
- Construção de um fotobiorreator em batelada, visando o reaproveitamento da água residual e condições adequadas de cultivo da microalga em questão;
- Análise da taxa de crescimento da microalga nessas condições, por espectrofotômetro e microscópio.

- Avaliação da concentração de parâmetros analíticos do efluente usado no fotobiorreator, antes e depois do período de tratamento (na entrada e na saída do efluente), com análise analítica de água.
- Análise comparativa de custo em relação a outros trabalhos da mesma área de estudo com diferentes processos.

## **2. Revisão Bibliográfica**

### **2.1 Efluente/Esgoto**

Segundo dicionário Collins, efluentes são resíduos que provém das indústrias, das redes pluviais e dos esgotos, que são jogados no meio ambiente, no formato de líquidos ou de gases. A palavra efluente significa algo que é emitido de algum corpo, assim como também tem seu significado atribuído à corrente de fluídos que saem de equipamentos, motores e assim por diante.

De acordo a Norma Brasileira – NBR 9648/86, esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária, sendo o esgoto doméstico resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. As características dos esgotos variam em função dos usos aos quais a água foi submetida, além de ser influenciado pelo clima, situação socioeconômica e hábitos da população (NBR 9648/86).

O esgoto doméstico comum não tem uma composição única e padronizada, sua composição varia de acordo com o volume de água e sua origem. Os efluentes que compõem o esgoto doméstico podem ser classificados em dois tipos: águas cinzas e águas negras (ANDRADE, 2015).

As águas cinzas são as águas de uso cotidiano convencional, sem muita carga poluente. Essas são provenientes do chuveiro, pias, lavanderias e banheira. Para esse montante o volume do esgoto doméstico requer um tratamento simples feito pelas ETA (Estações de Tratamento de Água) (RIDDERSTOLPE, 2004).

Já águas negras são as águas residuais, carregadas de matéria orgânica e componentes químicos e biológicos, provenientes dos vasos sanitários contendo fezes, urina e papel higiênico, entre muitos outros compostos como hormônios e resquícios de medicamentos. Essa classificação de água necessita de um tratamento mais complexo para reduzir sua carga de microrganismos e agentes biológicos, e esse tipo de tratamento convencionalmente é feito pelas ETE (Estações de Tratamento de Efluentes). Porém, existem

meios alternativos de tratamento, como o abordado nesse trabalho. Muitos dos elementos químicos e nutrientes desses resíduos biológicos são facilmente absorvidos pelas plantas, criando assim, maneiras alternativas de tratar esse tipo de água (ESREY, 1998).

## **2.2 Tratamento de esgoto**

Conforme o item 3.4 da NBR 12209 de 2011 da ABNT, a ETE:

*“Consiste em um conjunto de unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios de sistemas de utilidades, cuja finalidade é a redução das cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionamento da matéria residual resultante do tratamento”. (NBR 12209/011)*

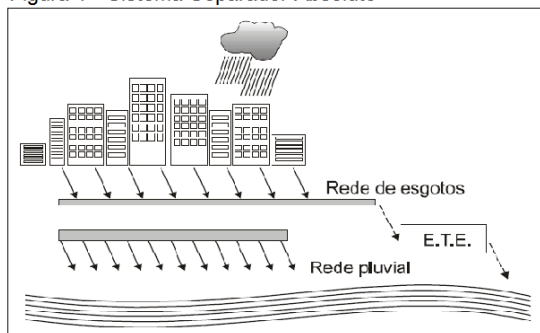
Dentre os objetivos de uma estação de tratamento de efluentes convencional, resumidamente temos: separação de sólidos por meios físicos, filtração biológica com auxílio de microrganismos, produção de lodo ativado, e tratamento do lodo. Para a implantação são necessários mecanismos, como de regulagens, medições de fluxo e dimensionamento adequado (NBR 12209, 2011).

A Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (2015) diz que o tratamento de esgoto consiste na remoção de poluentes e o método a ser utilizado depende das características físicas, químicas e biológicas. O tratamento consiste em separar da água a matéria orgânica e inorgânica nela contidas antes de devolvê-la ao ambiente aquático, representado por rios, lagos e mares – possíveis mananciais para abastecimento de água (SABESP, 2015).

Três etapas dividem o processo, a coleta, o tratamento, seguido do lançamento do tratado a rede pluvial. Falando-se de coleta, no Brasil adota-se predominantemente o sistema separador de esgotamento sanitário, o que separa as águas pluviais em linhas de drenagem independentes e que não contribuem à ETE. Em outros países, no entanto, adota-se o sistema combinado ou unitário, no qual os esgotos e as águas pluviais são veiculados conjuntamente pelo mesmo sistema. Neste caso, o dimensionamento da ETE tem de levar em consideração a parcela correspondente às águas pluviais (PIVELI, 2004).

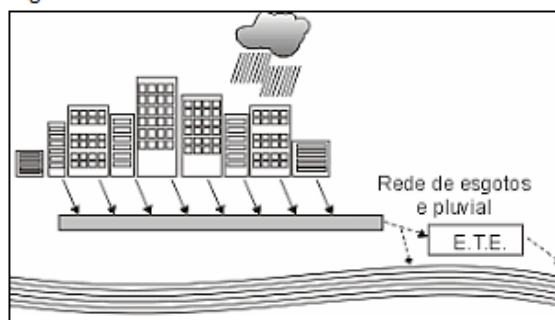
A Figura 1 e a Figura 2 abaixo mostram os tipos de redes coletoras que podem ser utilizadas.

Figura 1 - Sistema Separador Absoluto



Fonte : Adaptado de Von Sperling (1995)

Figura 2 - Sistema Unitário



Fonte: Adaptado de Von Sperling (1995)

Para todos os processos, redes coletoras de tratamento, utilizando os métodos tradicionais ou alternativos, é necessário que a impermeabilização da área seja muito bem executada para que não haja poluição do solo e dos lençóis freáticos (ANDRADE, 2015).

As tecnologias amplamente utilizadas para o tratamento de esgotos sanitários são os sistemas anaeróbios e aeróbios que comumente necessitam de um microrganismo atuante, contudo, ambas as tecnologias apresentam vantagens e desvantagens que tem impossibilitado o uso individual de tratamento por cada tecnologia (KIM et al., 2012; CHUNG et al., 2007).

### 2.3 Legislação para o lançamento de efluentes

Segundo a Resolução CONAMA 430/2011, a Seção II referente as Condições de Padrão de Lançamento de Efluentes, estipula no Art. 16 que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis. As condições estipuladas são:

- a) pH entre 5 a 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vez a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;
- e) óleos e graxas: 1. óleos minerais: até 20 mg/L; 2. óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L; f) ausência de materiais flutuantes; e

*g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): 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;*

A mesma seção propõe uma tabela, a Tabela 1, de parâmetros analíticos a serem atendidos para os padrões de lançamento de efluentes em geral, portanto da Seção II temos:

Tabela 1 – Tabela para caracterização de efluentes.

TABELA I (Adaptado da RESOLUÇÃO CONAMA 430/11)	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C6H5OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

Fonte: Adaptado de CONAMA 430/11

Segundo a mesma legislação CONAMA 430/2011, a Seção III apresenta as Condições e Padrões para Efluentes de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários. Tem-se no Art. 21 que para o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverão ser obedecidas as seguintes condições e padrões específicos:

- a) *pH entre 5 e 9;*
- b) *temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;*
- c) *materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;*
- d) *Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C: máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.*
- e) *substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e*
- f) *ausência de materiais flutuantes*

Para complementar o Art. 24 diz que:

*“Os responsáveis pelas fontes poluidoras dos recursos hídricos deverão realizar o automonitoramento para controle e acompanhamento periódico dos efluentes lançados nos corpos receptores, com base em amostragem representativa dos mesmos” (CONAMA 430/2011).*

Para atender a legislação, existem inúmeros tipos de tratamento de esgoto com capacidade de atingir esses parâmetros. E um tipo de tratamento alternativo é o tratamento de efluentes com utilização de microalgas.

## **2.4 Caracterização das algas para cultivo**

As algas do *Reino Plantae* constituem um grupo de organismos eucariontes que possuem a organela clorofila, indispensável para seu metabolismo, apresenta hábitos

aquáticos, além de serem fotossintetizantes e talófitos. Essas podem ser encontradas em formas unicelulares, pluricelulares, coloniais e cenocíticas (OLAIZOLA, 2003).

Elas são classificadas, morfológicamente falando, em microalgas e macroalgas. As microalgas, em sua maioria, são unicelulares, com dimensões microscópicas e células bem separadas; enquanto as macroalgas são algas que apresentam múltiplas células, geralmente agrupadas e dimensões macroscópicas (MOBIN; ALAM, 2017).

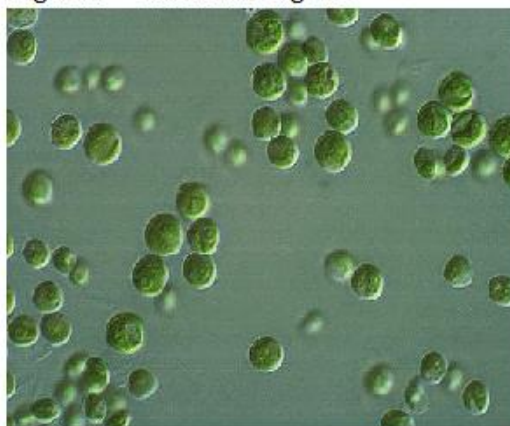
A simplicidade na estrutura e a resistência das microalgas permitem um crescimento acelerado em diferentes meios de cultivo como água doce, salgada e salobra, o que desperta o interesse dos pesquisadores em desenvolver aplicações biotecnológicas (BAICHA et al., 2016).

A análise de experimentos e ensaios com as microalgas, avaliando sua resposta às condições que foram expostas, geralmente necessita da realização de experimentos controlados, em que, na maioria dos casos, cada espécie estudada deve ser separada das demais, trabalhando individualmente as espécies. Tais experimentos originam-se em cultivos de microalgas. Recebem essa definição de cultivo, populações de organismos com a capacidade de sobreviver em condições artificiais e controladas de desenvolvimento (BANERJEE; DUBEY; SHUKLA, 2016; WANG et al., 2018).

## **2.5 Microalga espécie *Chlorella vulgaris***

A espécie *Chlorella vulgaris* é uma microalga de água comumente doce, extremamente resistente e adaptável. Apresenta uma célula microscópica esférica com 2 a 10 µm de diâmetro, possui parede celular resistente e elementos estruturais semelhantes às plantas. É composta por proteínas, lipídios, carboidratos, vitaminas e minerais (SAFIA et al., 2014). A Figura 3 abaixo apresenta a *Chlorella vulgaris*.

Figura 3 - Chlorella Vulgaris



Fonte: Adaptado de Lúcio (2014)

A *Chlorella vulgaris* apresenta uma taxa de crescimento acelerada, ou seja, rápida capacidade de se reproduzir, o que é favorecido pela sua resistência (ROGERS, 2011). Sua reprodução é caracterizada como assexuada, na qual cada célula haplóide divide-se mitoticamente duas ou três vezes para originar quatro ou oito células não-móveis (RAVEN; EVERT; EICHHORN, 2007).

Elas são em geral microrganismos resistentes, ou como dizem alguns pesquisadores, rústicas; tendo condições de se desenvolverem em temperaturas e pH variados, sendo extremamente resistentes a contaminantes e condições físicas, químicas e biológicas adversas, tornando-se ideal para a produção e testes em diferentes meios de cultivos, como efluentes (BAICHA et al., 2016).

Essa espécie em específico não necessita de grandes quantidades de nutrientes e possui uma alta produtividade de biomassa (YEH; CHANG, 2012), podendo ser cultivada em meios autotróficos, heterotróficos e mixotróficos, não dependendo exclusivamente da fotossíntese (BAICHA et al., 2016).

Contudo, ela possibilita diversos tipos de aplicações, como a produção de biocombustível através da extração dos lipídios, nutrição humana pelo seu alto valor energético e de nutrientes, alimentação animal, tratamento de efluentes e produção de biofertilizantes (SAFIA et al., 2014).

## **2.6 Uso de Efluente como meio de cultivo**

As características e a composição de cada efluente variam de acordo com a operação, matéria-prima e atividades envolvidas nos processos, acarretando assim diferentes características físicas e químicas para cada efluente (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Segundo Von Sperling (1996) os principais constituintes orgânicos presentes nos efluentes são: proteínas, açúcares, óleos e gorduras, microrganismos, sais orgânicos e componentes dos produtos saneantes, matéria orgânica em geral. E os principais constituintes inorgânicos são sais formados de ânions (cloretos, sulfatos, nitratos, fosfatos) e cátions (sódio, cálcio, potássio, ferro e magnésio).

Efluentes em geral, gerados a partir inúmeras fontes, contém altas concentrações de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, o que favorece a eutrofização do meio. Muitas espécies de algas são bastante tolerantes a orgânicos poluentes e crescem rapidamente em qualquer meio rico em nitrogênio(N), fósforo(P) e compostos orgânicos, o que justifica o uso de efluentes como uma alternativa de meio de cultivo para as microalgas (LAVOIE & DE LA NOUE, 1985; MARTIN et al., 1985; OSWALD, 1988).

## **2.7 Tratamento de Efluentes com *Chlorella vulgaris***

Com toda a temática, importância e investimentos no setor de recuperação de águas, o tratamento de efluentes através de processos biológicos apresenta um grande crescimento.

As microalgas têm chamado atenção dos pesquisadores pela grande variedade de aplicações biotecnológicas envolvendo tratamento de efluentes, devido a sua capacidade de reter e imobilizar metais dissolvidos, de baixar a carga orgânica do efluente, e corrigir inúmeros parâmetros analíticos de água (LAM et al., 2017). Fatores como natureza das águas residuais, densidade de algas, intensidade da luz, temperatura, pH, etc. influenciam no tratamento (MALIK, 2002).

O primeiro relato envolvendo o estudo sobre imobilização de algas foi publicado em 1966 (PARK, et al. 1966), onde eles usaram células de *Chlorella* quimicamente fixas para a medição da reação de Hill. Posteriormente Hillier e Park (1969) também demonstraram que o glutaldeído *Anacystis nidulans*, *Porphyridium cruentum* e *Chlorella pyrenoidosa* foram capazes de realizar produção de O<sub>2</sub> dependente da luz na presença de aceitadores de elétrons. No entanto, o Prof. de la Noüe e seus colegas de trabalho, Universidade de Laval, Quebec, Canadá, poderiam ser considerados os pioneiros na introdução de tecnologia de imobilização com algas em nitrogênio de águas residuais e estudos de remoção de fósforo (MALIK, 2002).

Águas residuárias geradas a partir de agricultura e outras fontes contêm altas concentrações de matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, e causa a eutrofização do corpo hídrico. Muitas espécies de algas, especialmente *Chlorella*, são bastante tolerantes a orgânicos poluentes e crescem rapidamente em qualquer meio rico em N, P e compostos orgânicos. Sendo assim, as microalgas têm sido tradicionalmente usadas como um processo de tratamento terciário para remover N e P inorgânicos das águas residuais após a sua matéria orgânica (DBO e DQO) ter sido reduzida por tratamentos secundários convencionais (LAVOIE & DE LA NOUE, 1985; MARTIN et al., 1985; OSWALD, 1988).

Estudos recentes relataram que muitas espécies de algas, particularmente *Chlamydomonas*, *Scenedesmus* e *Chlorella*, podem assimilar parcialmente compostos degradados orgânicos sob condições de luz (mixotrófica) e também são capazes de realizar crescimento heterótrofos em moléculas simples, como acetato, glicose e ácidos orgânicos no escuro (LALIBERTE & DE LA NOUE, 1993; MAYO e NOIKE, 1994). Isso sugere que um sistema microalgal pode ser empregado como um processo de tratamento secundário alternativo para remoção simultânea de nutrientes e matéria orgânica de águas residuais (PRZYTOCKA-JUSIAK et al., 1984; TAM & WONG, 1990).

A maior limitação em tratamentos de efluentes utilizando algas está em separar a biomassa algal gerada da água tratada, já que os mesmos se apresentam em uma mistura homogênea. Inúmeros esforços e tecnologias estão sendo desenvolvidos para facilitar esse processo, sendo as mais comuns por filtração ou centrifugação (RICHMOND&BECKER 1986; MOHN 1988; OSWALD 1988).

Quanto a tecnologia a ser empregada, o tratamento de efluentes com microalgas propõe maior flexibilidade falando de design de reatores em comparação aos métodos convencionais de tratamento (BROUERS et al. 1989).

### **3. Materiais e Métodos**

#### **3.1 Microalgas**

Para realizar o estudo de viabilidade de tratamento de efluentes, utiliza-se a microalga da espécie *Chlorella vulgaris* fornecida pelo Prof. Dr. Frederico P. Brandini do Banco de Microorganismos Aidar & Kutner do Instituto Oceanógrafo da USP com a cepa clone BMAK D1.

### 3.2 Caracterização da ETE

A ETE da cidade de Lorena, pertencente a Sabesp, localiza-se na cidade de Lorena no bairro da Ponte Nova, na estrada que sai da cidade em rumo a Universidade Escola de Engenharia de Lorena EEL-USP. A estação trabalha no sistema de estabilização, com o processo de lagoas facultativas. Ela tem dimensionamento pensado para atender uma cidade de 100 mil habitantes em média, levando em consideração as épocas sazonais de possíveis sobrecargas na produção de efluentes. O efluente utilizado para o experimento é o efluente bruto de alimentação da ETE em questão, antes de qualquer etapa de tratamento. O efluente foi submetido apenas ao gradeamento e a desarenação antes de coletá-lo para os experimentos. Ele foi coletado pessoalmente pelo próprio autor desse trabalho, com autorização do responsável da estação, vide abaixo a Figura 4 mostrando o dia de coleta desse efluente, e uma amostra do efluente na Figura 5.

Figura 4 - Dia da coleta



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Figura 5 - efluente



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Visando adaptação do inóculo ao efluente, todo efluente foi esterilizado com o auxílio de cloro antes de utilizado, para que não haja competição por parte de nenhum outro microrganismo presente no efluente que possa interferir no crescimento da microalga.

O método descrito por Kawachi e Noel (2005) será utilizado para esterilização do efluente, ao adicionar de 0,3 a 0,5 mL/L de hipoclorito de sódio. Após 24h, foi realizado a neutralização do cloro com o tiosulfato de sódio, adicionando aproximadamente 30mg/L ao efluente (LOURENÇO, 2006). Por fim, após a neutralização o efluente será inoculado com o cultivo presente no inóculo de 4L da Figura 8.

### 3.3 Inóculo.

Antes da preparação do inóculo houve a verificação no cepário do laboratório para saber se havia cepas de microalgas *Chlorella vulgaris* disponíveis para a pesquisa. No caso, havia uma quantidade grande de cepas o que possibilitou usar uma cepa de 250mL para produzir um primeiro inoculo. Abaixo, a Figura 6 ilustra as cepas dentro do cepário do Laboratório de Microalgas da EEL-USP.

Figura 6 - Cepário de *Chlorella V.*



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Apenas uma dessas cepas (Erlenmeyers) foi utilizada para começarmos nosso inóculo de microalgas, onde multiplicaremos a cepa de 250mL para um inoculo de 1L e posteriormente para 4L onde teremos nosso inóculo final, pronto para o cultivo com o efluente.

O inóculo de microalga *Chlorella vulgaris* utilizado foi cultivado no Meio Bold Basal (BBM) de cultivo, descrito na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Composição do Meio Bold Basal (BBM)

Reagentes	Concentração final (g/L)	Solução estoque (g/L)	Volume adicionado (mL/L)
NaNO <sub>3</sub>	0,075	25	30
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,075	7,5	10
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,175	17,5	10
NaHCO <sub>3</sub>	0,075	2,5	10
CaCl <sub>2</sub> •2H <sub>2</sub> O	0,013	2,5	5
MgSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	0,05	10	5
EDTA	0,05	25	2
FeCl <sub>3</sub> •6H <sub>2</sub> O	0,004	2	2
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,004	2	2
ZnSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	0,0015	0,75	2
MnCl <sub>2</sub> •4H <sub>2</sub> O	0,00024	0,12	2
CuSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O	0,00024	0,12	2
CoCl <sub>2</sub> •6H <sub>2</sub> O	0,00006	0,03	2
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	0,0002	0,10	2

Fonte: Lourenço (2006).

Abaixo a Figura 7 mostra a preparação desse Meio Bold Basal (BBM) de cultivo para microalgas. São 14 garrafas de reagentes que são pipetados um a um de acordo com as informações da Tabela 2 acima. A preparação varia de acordo com a quantidade de inoculo que se vai preparar. A Figura 7 abaixo, apresenta a preparação do meio BBM em laboratório, cada frasco representa um reagente da Tabela 2.

Figura 7 - Preparação do meio BBM



Fonte: Próprio autor, 2020.

Nesse caso, foi preparado primeiramente o equivalente para 1L de inóculo, que depois de uma semana em 1L, ele seria multiplicado para um segundo reator de 4L. Abai-

xo a Figura 8 mostra o primeiro inoculo de 1L. Esse primeiro inóculo contem 250mL de microalgas da cepa e 750mL de meio BBM.

Figura 8 - Inóculo de 1L



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Uma semana depois, fornecendo oxigênio diário, esse inóculo atingiu uma coloração verde escuro bem denso. Nesse momento, foi preparado um segundo meio BBM de 3L, que foi misturado ao inóculo de 1L formando assim um segundo inóculo, agora com 4L. A Figura 9 abaixo, mostra o inoculo de 4 L que foi preparado a partir do inoculo de 1L.

Figura 9 - Inóculo de 4L



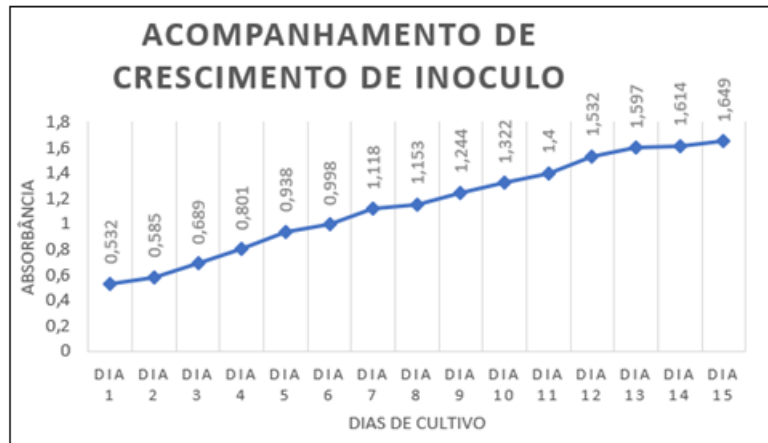
Fonte : Próprio Autor, 2020.

Esse inoculo de 4L foi acompanhado durante 15 dias. Utilizou-se o espectro fotômetro para acompanhar o crescimento celular no inóculo, no primeiro dia a absorvância era de 0,585. Segundo os cálculos de diluição precisava-se que a absorvância atingisse

1,6 para começar os cultivos de tratamento do efluente com 4L em cada reator. Somente depois de 15 dias o inóculo atingiu 1,6 de absorvância, o que possibilitou dar-se sequência na pesquisa. A leitura é realizada no comprimento de onda de 680 nm.

O Gráfico 1 abaixo demonstra o acompanhamento do crescimento do inóculo no decorrer dos dias de cultivo.

Gráfico 1 - Crescimento celular do inóculo



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Pode-se observar que são 15 dias de cultivo, em que foram medidas amostras até nos finais de semana. O Acompanhamento foi feito a partir do espectrofotômetro, e começou o cultivo com 0,532 de absorvância e finalizou com 1,649, um dia antes de começar o tratamento com o efluente. O inóculo está pronto pra ser submetido ao efluente e dar sequência no tratamento proposto.

### 3.4 Submetendo ao tratamento

O fotobiorreator a ser utilizado é construído a partir de garrafas PET. Três garrafas Pets de 4L são colocadas uma ao lado da outra, com um sistema de alimentação de Oxigênio embutido e com luzes fluorescentes a 10 cm de distância dos reatores. Cada reator (PET) representa um experimento, são três experimentos pois o tratamento está sendo feito em triplicata para melhor validação dos resultados.

Para começar o tratamento peneira-se o efluente com uma peneira de pano TNT, para retirar as partículas sólidas. Para esse experimento utilizou-se o efluente diluído em 33,33%. Para isso, coloca-se 1L do efluente bruto em cada fotobiorreator, mais 2L de água para diluir o efluente em 33,33% e em seguida, pegasse o inóculo de 4L e adiciona-se 1L de inóculo em cada fotobiorreator com efluente. Formando assim três reatores com

4L de volume, sendo 3L de efluente diluído e 1L de microalgas *Chlorella vulgaris* em 1,6 de absorvância. A Figura 10 abaixo ilustra o efluente e o inóculo lado a lado.

Figura 10 - Efluentes e inóculo



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Como dito acima, 1L do inóculo foi adicionado em cada reator com efluente formando assim três cultivos, todos começando com absorvância por volta de 0,530. Abaixo a Figura 11 e a Figura 12 mostram como ficaram os meios de cultivo depois de misturados, uma figura mostra minutos antes da inoculação e a outra mostra os experimentos já em seus devidos lugares de cultivo, perto da luz e com alimentação de ar.

Figura 11 - Reatores prontos



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Figura 12 - Primeiro dia de cultivo



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Os reatores já inoculados foram levados para exposição a luz artificial e oxigenação por ar comprimido como mostra a Figura 12.

Os três reatores ficaram em atividade pelo tempo estipulado no acompanhamento dos experimentos. Deve-se acompanhar o crescimento celular das microalgas analisando a absorbância por espectrofotometria diariamente. O experimento deve apresentar um grande crescimento nos primeiros dias e depois estabilizar até começar a decair. Quando começar a decair, tem-se um indicador que o experimento já pode terminar. Estima-se um tempo de reação de 7 a 10 dias nesse procedimento. No entanto, para esses experimentos o tempo de reação foi de exatos 8 dias.

### 3.5 Decantação e filtração

Após os 8 dias de reação, para-se com a oxigenação e exposição a luz, e deixa-se por 24h os reatores “descansando” para que as microalgas decantem ao fundo do reator, deixando somente o efluente tratado como sobrenadante. Nesses experimentos não foram utilizados nenhum tipo de floculante, para que não houvesse nenhuma alteração na caracterização final do efluente. A Figura 13 abaixo mostra como ficam os reatores após 24h de decantação.

Figura 13 - Decantação



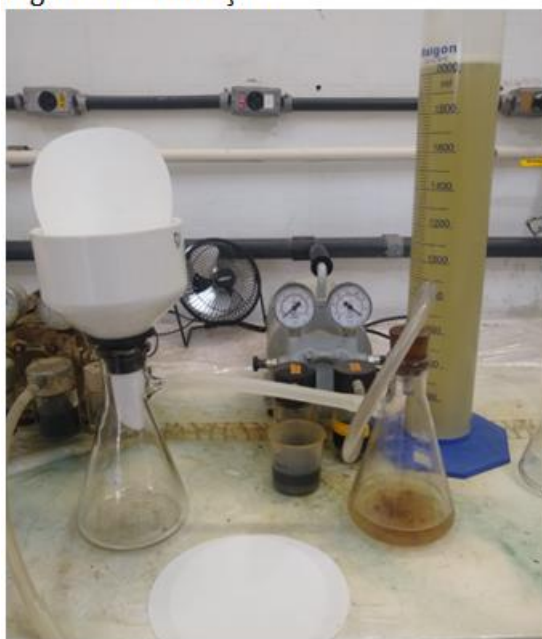
Fonte: Próprio Autor, 2020.

Com muito cuidado e delicadeza, sem agitar os reatores, retira-se o sobrenadante e separa-os para a filtração. O restante de microalgas que sobra no fundo dos reatores foi

descartado, pois nesse experimento só interessa o efluente tratado, nesse caso o sobrenadante do pós-decantação. No entanto, essas microalgas que sobraram poderiam ser aproveitadas para medir o potencial na produção biocombustíveis. O que não foi feito nesse trabalho.

Com o sobrenadante dos três experimentos (triplicatas) separados e em mão, eles são submetidos a filtração a vácuo com um motor de vácuo de 220V, um *Quitassato* e um filtro de papel de gramatura 80g/m<sup>2</sup>, mais fina que o tamanho celular da microalga *Chlorella vulgaris*. Cada um dos efluentes tratados (os sobrenadantes) foram passados pela filtração para retirada de toda sobra de microalga que possa ter ainda no efluente. A Figura 14 a seguir ilustra o procedimento de filtração do efluente tratado.

Figura 14 - Filtração



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Após a filtração, os efluentes filtrados dos três experimentos foram refrigerados e posteriormente levados para análise química dos parâmetros de qualidade do efluente. A empresa Prisma Soluções Ambientais Ltda. ficou responsável pelas análises analíticas do efluente. Os resultados da análise são apresentados nos “Resultados e Discussões” desse trabalho.

A Figura 15 abaixo ilustra uma comparação entre efluentes filtrados e tratados versus o efluente bruto.

Figura 15 - Comparação Efluente Bruto x Tratado



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Pode-se observar a diferença entre o efluente bruto e ele tratado com questões de cor, turbidez e cheiro. Lembrando que o efluente bruto da foto foi submetido a diluição antes de ser submetido ao tratamento.

### **3.6 Caracterização do efluente**

Para avaliação da eficiência do processo realiza-se a comparação dos parâmetros de qualidade da água na entrada e na saída do reator, através da caracterização do efluente utilizando as análises de DQO, DBO, Nitrato, Nitrito, Ferro Dissolvido, Manganês, Zinco, Óleos e Graxas, Sulfato, Sulfeto e Nitrogênio Amoniacal. As análises serão realizadas utilizando o auxílio de uma empresa terceirizada de serviços ambientais a Prima Soluções Ambientais Ltda.

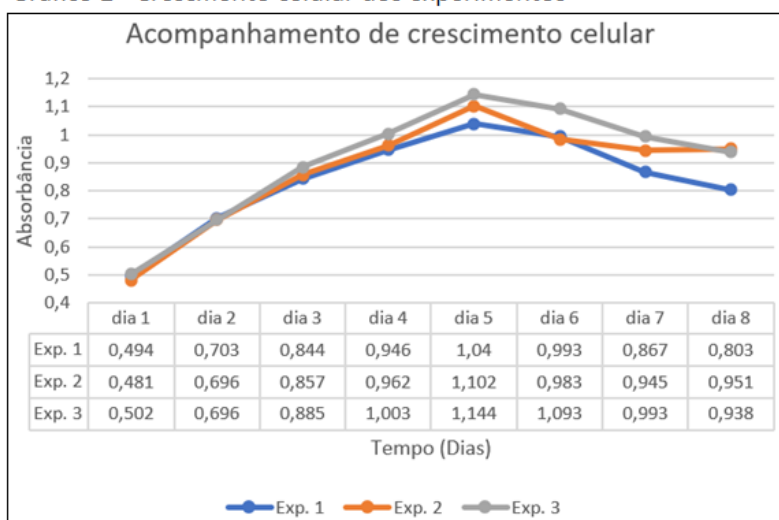
## **4. Resultados e discussões**

### **4.1 Acompanhamento do crescimento celular**

Os três experimentos (triplicatas) duraram 8 dias, foi analisado e acompanhado diariamente a absorbância dos três experimentos com a ajuda do espectrofotômetro a 680 de comprimento de onda. Os resultados foram anotados e serviram para acompanhar o crescimento celular da microalga, pois quando maior o valor medido no aparelho maior a

densidade de microalga disposta na amostra. O acompanhamento desses valores ditou a duração do experimento, quando se acabou o crescimento e vem a estabilização de valores, tem-se como entendido o final do consumo de matéria orgânica do meio por parte das microalgas, ou seja, o final do cultivo. O Gráfico 2 abaixo apresenta as curvas de crescimento das microalgas nos três experimentos no decorrer dos 8 dias, com os valores obtidos pela análise diária no espectrofotômetro.

Gráfico 2 - Crescimento celular dos experimentos



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Pode-se observar a partir dos dados coletados, que até o quinto dia de cultivo houve um crescimento muito rápido das microalgas, saindo do 0,5 e indo até 1,0 de absorbância. E a partir do dia 5 houve estabilização do crescimento e decaimento da absorbância. Isso provavelmente se deu devido de já estarem chegando no tempo de estabilização normal, e ao fato de terem começado uma floculação natural notada no dia 6. A partir do dia 6 a floculação natural estava presente nos três experimentos, coincidindo com a diminuição da absorbância. A floculação natural é um indicador de que o experimento está se degradando, muitas células morrem por estar agrupadas e não receberem luz, ao observá-la entende-se que o experimento precisa terminar. Por isso encerrou-se o cultivo nas triplicatas com 8 dias.

## 4.2 Caracterização do efluente bruto

Antes de submeter o efluente bruto ao experimento, coletou-se uma amostra de 2L do mesmo. Essa amostra foi levada para análise, com auxílio de uma empresa terceirizada de análise de efluentes e parâmetros de água. Essa entrega foi feita no dia 26/10/2020,

e os resultados foram recebidos cerca de um mês depois da entrega do efluente para análise.

Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, Ferro dissolvido, Manganês, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio Amoniacal, Óleos e Graxas, Sulfato, Sulfeto e Zinco. A Figura 16 abaixo mostra os resultados obtidos por essa análise do efluente bruto.

Figura 16 - Resultados da análise do Efluente Bruto

Resultados: Efluente bruto				
Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	52,0	mg/L	5,9	SM 5210 B
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	90,1	mg/L	12,8	SM 5220 D
Ferro Dissolvido	0,2177	mg/L	0,0017	SM 3125 B
Manganês	0,0443	mg/L	0,0006	SM 3125 B
Nitrato	0,40	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrito	<0,06	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrogênio Amoniacal	<5,25	mg/L	5,25	SM 4500-NH3 C
Óleos e Graxas	25,5	mg/L	9,5	SM 5520 D
Sulfato	108,75	mg/L	4,98	SM 4500-SO4 E
Sulfeto	<0,017	mg/L	0,017	SM 4500-S2 F
Zinco	0,0360	mg/L	0,0007	SM 3125 B

**Referência(s) Normativa(s):** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23th Edition, Relatório de Ensaio tipo A - Ensaio Acreditados conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

**Legenda**  
 mg/L - Miligrama por Litro.  
 L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplíavel

Fonte: Relatório de ensaio Prisma Ambiental Ltda. N° 1221, 2020.

Pode-se observar na imagem acima, o resultado da análise do efluente bruto, tendo na parte de cima os parâmetros referentes a matéria orgânica como DBO e DQO e outros parâmetros de qualidade de água, Nitrato e Nitrito. A direita da imagem pode-se observar a metodologia que foi utilizada para obter os resultados para cada um dos parâmetros, todas as análises foram feitas pela empresa Prisma Soluções Ambientais Ltda.

### 4.3 Parâmetros para o efluente diluído

A análise de parâmetros de água foi feita para o efluente bruto como mostrado acima, no entanto o efluente precisou ser diluído para ser submetido ao tratamento. Como explicado na metodologia, diluiu-se o efluente em 33.33% para obter maior resposta por parte das microalgas. Ou seja, 1L de efluente bruto foi adicionado a 2L de água, diluindo-se assim para 3L de efluente a ser tratado. O mesmo procedimento foi feito para todos os experimentos (triplicatas), assim todos começaram com ele efluente diluído em 33,33% para serem submetidos ao tratamento. A Tabela 3 abaixo mostra os valores de parâmetros do efluente, calculados para essa diluição, ou seja, “dilu-se” os valores encontrados para o efluente bruto, para obter os valores do efluente diluído.

Tabela 3 - Resultados das análises para o efluente bruto e diluído

QUADRO DE RESULTADOS ANALISADOS	Resultados (mg/L)	
	Efluente Bruto	Efluente diluído
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	52	17,333
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	90,1	30,033
Ferro Dissolvido	0,2177	0,073
Manganês	0,0443	0,015
Nitrato	0,4	0,133
Nitrito	<0,06	<0,02
Nitrogênio Amoniacal	<5,25	<1,75
Óleos e Graxas	25,5	8,5
Sulfato	108,75	36,25
Sulfeto	<0,017	<0,0056
Zinco	0,036	0,012

Fonte: Próprio Autor, 2020.

Foi utilizado a fórmula de diluição  $C \cdot V(\text{inicial}) = C \cdot V(\text{Final})$  para obter-se a concentração final do efluente diluído.

#### 4.4 Caracterização do efluente após Tratamento proposto

Após a submissão ao tratamento em batelada com as microalgas *Chlorella vulgaris* por 8 dias, foi coletado após filtração, 2L de sobrenadante de cada triplicata, obtendo assim três amostras de 2L cada. Cada uma delas oriundas de um experimento da triplicata.

É muito importante que essas amostras estejam bem filtradas e sem a presença de microalgas nela, pois ela pode causar alterações nos parâmetros de água a ser associada com matéria orgânica.

Os mesmos parâmetros analisados no efluente bruto serão analisados no efluente tratado a fim de se obter uma comparação do “antes” versus o “depois”.

##### 4.4.1 Caracterização do Experimento 1

Depois de filtrado e coletado o efluente tratado do Experimento 1, dois litros de efluentes foram levados para análise pela empresa terceirizada Prima Soluções Ambientais Ltda. Duas semanas depois da entrega do efluente para análise chegaram os resulta-

dos para serem analisados nesse trabalho, comparando o efluente antes e depois do tratamento proposto com microalgas. A Figura 17 abaixo mostra os resultados encontrados para os parâmetros analisados nesse trabalho, os resultados abaixo são do efluente coletado pós tratamento proposto do Experimento 1.

Figura 17 - Resultados da análise do efluente tratado do Experimento 1

<b>Resultados: Exp 1</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Un Trab</b>	<b>L.Q.</b>	<b>Metodologia</b>
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	42,2	mg/L	5,9	SM 5210 B
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	80,2	mg/L	12,8	SM 5220 D
Ferro Dissolvido	0,0416	mg/L	0,0017	SM 3125 B
Manganês	0,0058	mg/L	0,0006	SM 3125 B
Nitrato	124,00	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrito	1,91	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrogênio Amoniacal	<5,25	mg/L	5,25	SM 4500-NH3 C
Óleos e Graxas	<9,5	mg/L	9,5	SM 5520 D
Sulfato	72,95	mg/L	4,98	SM 4500-SO4 E
Sulfeto	<0,017	mg/L	0,017	SM 4500-S2 F
Zinco	0,1878	mg/L	0,0007	SM 3125 B

**Referência(s) Normativa(s):** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23th Edition, Relatório de Ensaio tipo A - Ensaio Acreditado conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

**Legenda**  
 mg/L - Miligrama por Litro.  
 L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Apliável

Fonte: Relatório de ensaio Prisma Ambiental Ltda. Nº 1222, 2020.

Observa-se na figura acima, o resultado da análise do Experimento 1, tendo na parte de cima os parâmetros referentes a matéria orgânica como DBO e DQO e outros parâmetros. A direita da imagem pode-se observar a metodologia que foi utilizada para obter os resultados para cada um dos parâmetros, todas as análises foram feitas pela empresa Prisma Soluções Ambientais Ltda.

#### 4.4.2 Caracterização do Experimento 2

Assim como no experimento 1, depois de filtrado e coletado o efluente tratado do Experimento 2, dois litros de efluentes foram levados para análise pela empresa terceirizada Prima Soluções Ambientais Ltda. No prazo de duas semanas houve entrega do efluente para análise chegaram os resultados para serem analisados nesse trabalho, comparando o efluente antes e depois do tratamento proposto com microalgas. A Figura 18 abaixo mostra os resultados encontrados para os parâmetros analisados nesse trabalho, os resultados abaixo são do efluente coletado pós tratamento proposto do Experimento 2.

Figura 18 - Resultados da análise do efluente tratado do Experimento 2

<b>Resultados: Exp. 2</b>				
<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Un Trab</b>	<b>L.Q.</b>	<b>Metodologia</b>
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	42,3	mg/L	5,9	SM 5210 B
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	87,2	mg/L	12,8	SM 5220 D
Ferro Dissolvido	0,0385	mg/L	0,0017	SM 3125 B
Manganês	0,0082	mg/L	0,0006	SM 3125 B
Nitrato	131,00	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrito	1,98	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrogênio Amoniacal	<5,25	mg/L	5,25	SM 4500-NH3 C
Óleos e Graxas	12,1	mg/L	9,5	SM 5520 D
Sulfato	63,45	mg/L	4,98	SM 4500-SO4 E
Sulfeto	<0,017	mg/L	0,017	SM 4500-S2 F
Zinco	0,2080	mg/L	0,0007	SM 3125 B

**Referência(s) Normativa(s):** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23th Edition, Relatório de Ensaios tipo A - Ensaios Acreditados conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

**Legenda**  
 mg/L - Miligrama por Litro.  
 L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Aplíavel

Fonte: Relatório de ensaio Prisma ambiental Ltda. Nº 1223, 2020.

Acima, tem-se o resultado da análise do Experimento 2, tendo na parte de cima os parâmetros referentes a matéria orgânica como DBO e DQO e outros parâmetros inorgânicos. A direita da imagem pode-se observar a metodologia que foi utilizada para obter os resultados para cada um dos parâmetros, todas as análises foram feitas pela empresa Prisma Soluções Ambientais Ltda.

#### 4.4.3 Caracterização do Experimento 3

Seguindo analogamente para o Experimento 3, dois litros de efluentes foram levados para análise pela empresa terceirizada Prima Soluções Ambientais Ltda. Assim como os outros, duas semanas depois da entrega do efluente para análise chegaram os resultados para serem analisados nesse trabalho, comparando o efluente antes e depois do tratamento proposto com microalgas. A Figura 19 abaixo mostra os resultados encontrados para os parâmetros analisados nesse trabalho, os resultados abaixo são do efluente coletado pós tratamento proposto do Experimento 3.

Figura 19 - Resultados da análise do efluente tratado do Experimento 3

Resultados: Exp 3				
Parâmetros	Resultados	Un Trab	L.Q.	Metodologia
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	50,6	mg/L	5,9	SM 5210 B
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	88,4	mg/L	12,8	SM 5220 D
Ferro Dissolvido	0,0434	mg/L	0,0017	SM 3125 B
Manganês	0,0051	mg/L	0,0006	SM 3125 B
Nitrato	166,00	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrito	2,14	mg/L	0,06	ABNT NBR 12620:1992
Nitrogênio Amoniacal	<5,25	mg/L	5,25	SM 4500-NH3 C
Óleos e Graxas	10,4	mg/L	9,5	SM 5520 D
Sulfato	60,55	mg/L	4,98	SM 4500-SO4 E
Sulfeto	<0,017	mg/L	0,017	SM 4500-S2 F
Zinco	0,1821	mg/L	0,0007	SM 3125 B

**Referência(s) Normativa(s):** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23th Edition, Relatório de Ensaios tipo A - Ensaios Acreditados conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

**Legenda**  
 mg/L - Miligrama por Litro.  
 L.Q. - Limite de Quantificação, VMP - Valor Máximo Permitido, N.A. - Não Apliável

Fonte: Relatório de ensaio Prisma Ambiental Ltda. Nº 1224, 2020.

Pode-se observar na imagem acima, o resultado da análise do Experimento 3, tendo na parte de cima os parâmetros referentes a matéria orgânica como DBO e DQO e outros parâmetros inorgânicos. A direita da imagem pode-se observar a metodologia que foi utilizada para obter os resultados para cada um dos parâmetros, todas as análises foram feitas pela empresa Prisma Soluções Ambientais Ltda.

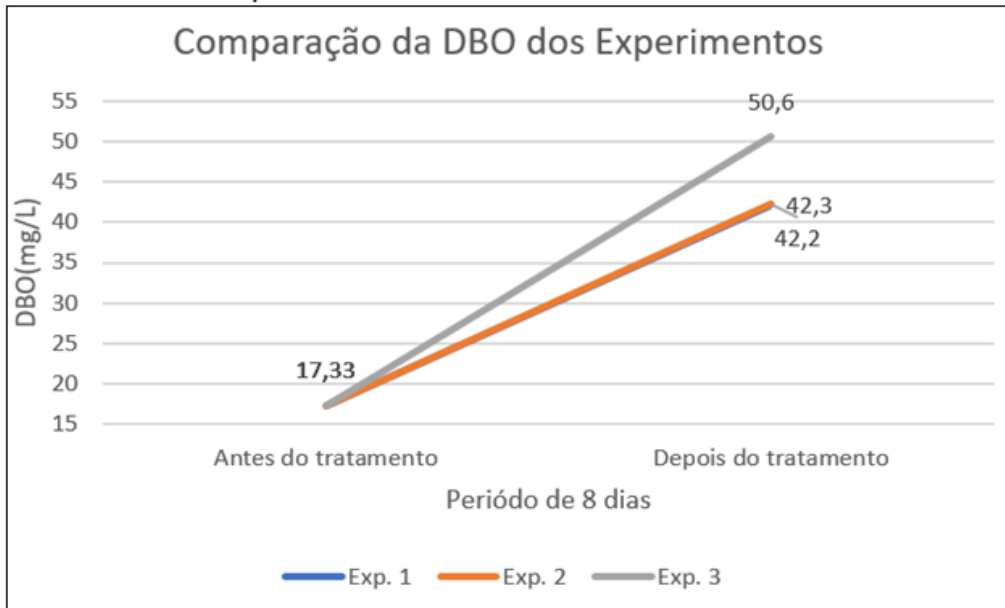
#### 4.5 Resultados para DBO

Após os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos em mãos pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Nesse tópico aborda-se o parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha DBO de 17,33mg/L, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou uma DBO de 42,2mg/L, o Experimento 2 uma DBO de 42,3mg/L e o Experimento 3 uma DBO de 50,6mg/L.

O Gráfico 3 abaixo mostra o comportamento da DBO nos três experimentos, comparando-os.

Gráfico 3 : Acompanhamento da DBO



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Analisando os dados de antes do tratamento para depois do tratamento pode-se observar um aumento na DBO do efluente submetido. No entanto, observa-se que os três experimentos apresentaram resultados próximos e tendências parecidas de crescimento.

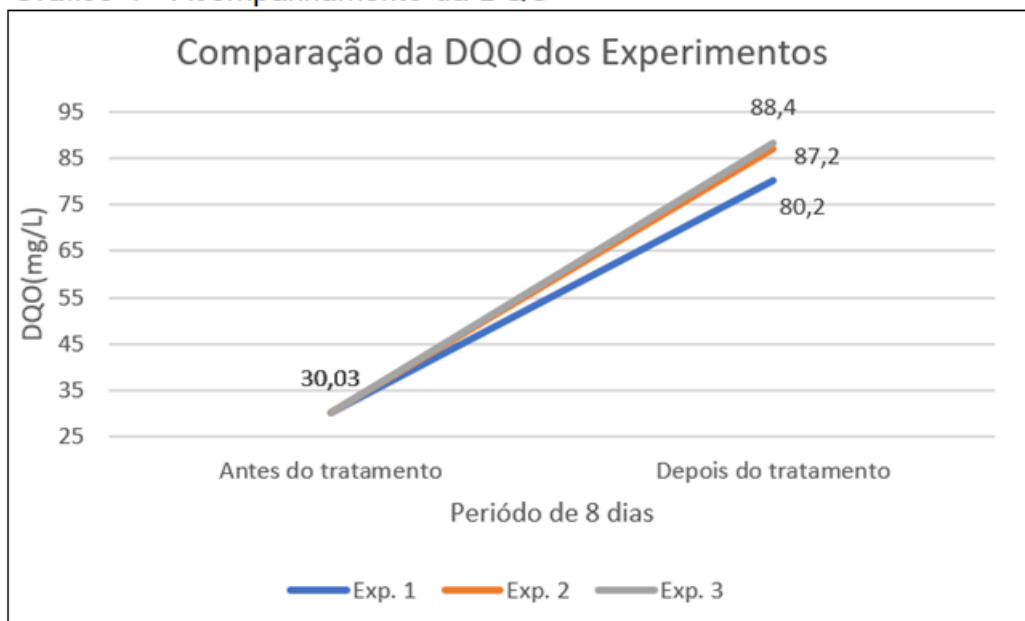
#### 4.6 Resultados para DQO

Com os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Nesse tópico aborda-se o parâmetro Demanda Química de Oxigênio (DQO), do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha DQO de 30,03mg/L, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou uma DQO de 80,2mg/L, o Experimento 2 uma DQO de 87,2mg/L e o Experimento 3 uma DQO de 88,4mg/L.

O Gráfico abaixo 4 mostra o comportamento da DQO nos três experimentos, comparando-os.

Gráfico 4 - Acompanhamento da DQO



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Analisando os dados de antes do tratamento para depois do tratamento pode-se observar um aumento na DQO do efluente. No entanto, observa-se também, assim como na DQO, que os três experimentos apresentaram resultados próximos e tendências parecidas de crescimento mostrando bem o comportamento da triplicata.

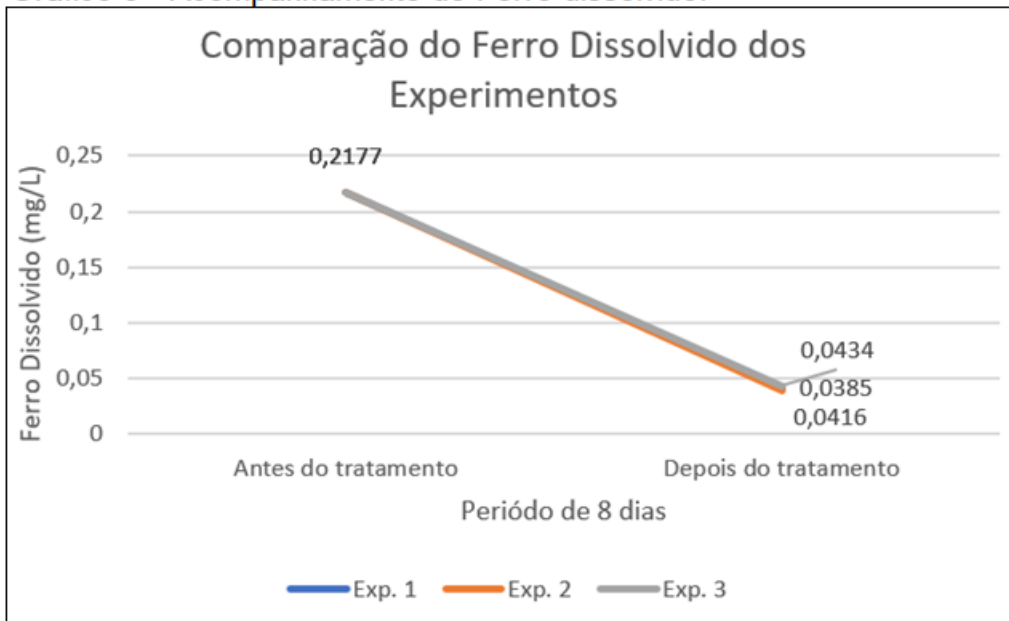
#### 4.7 Resultados para Ferro Dissolvido

Analisando os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Aqui aborda-se o parâmetro de Ferro Dissolvido na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 0,2177mg/L de Ferro Dissolvido, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 0,0416mg/L, o Experimento 2 apresentou 0,0368mg/L e o Experimento 3 0,0404mg/L de Ferro dissolvido.

O Gráfico 5 abaixo mostra o comportamento do Ferro dissolvido nos três experimentos, comparando-os.

Gráfico 5 - Acompanhamento do Ferro dissolvido.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Analisando os dados de antes do tratamento para depois do tratamento pode-se observar uma grande retenção de Ferro Dissolvido por parte das microalgas, representado pela diminuição da concentração dele no efluente submetido.

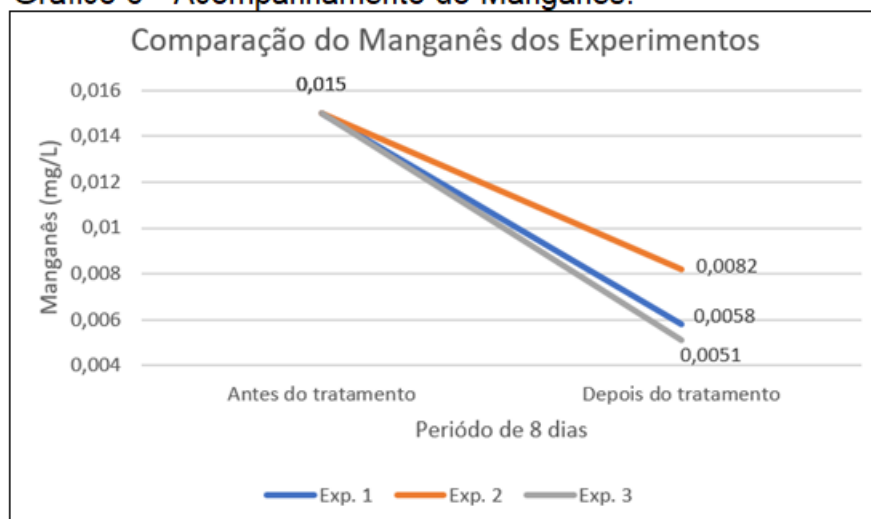
#### 4.8 Resultados para o Manganês

Observando os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Analogamente aos anteriores, aqui aborda-se o parâmetro Manganês na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 0,015mg/L de Manganês, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 0,0058mg/L, o Experimento 2 apresentou 0,0082mg/L e o Experimento 3 0,0051mg/L de Manganês.

O Gráfico 6 abaixo mostra o comportamento do Manganês nos três experimentos, comparando-os.

**Gráfico 6 - Acompanhamento do Manganês.**



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Observando os dados de antes do tratamento para depois do tratamento pode-se observar uma grande diminuição do Manganês no meio, representado pela diminuição da concentração dele no efluente tratado. Os três experimentos caminharam bem próximos no decorrer do tratamento, representando bem uma triplicata.

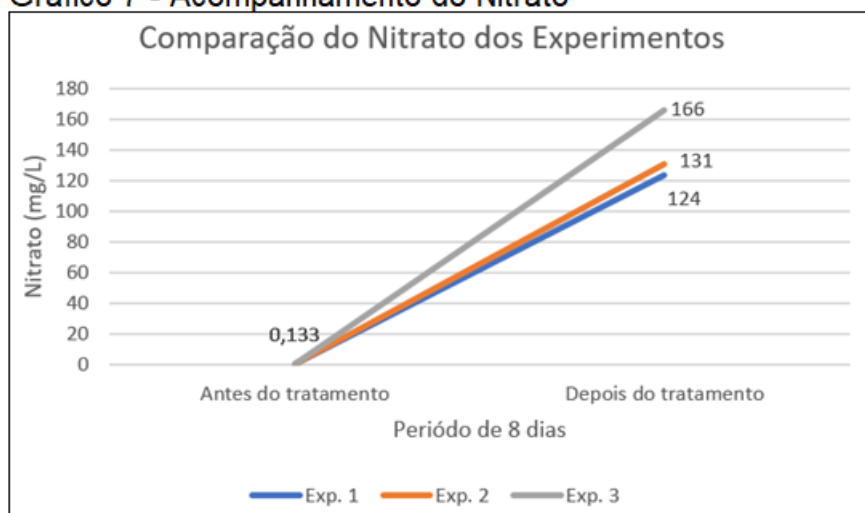
#### **4.9 Resultados para o Nitrato**

Reunindo os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Analogamente aos anteriores, aqui aborda-se o parâmetro Nitrato na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 0,133mg/L de Nitrato, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 124,00mg/L, o Experimento 2 apresentou 131,00mg/L e o Experimento 3 apresentou 166,00mg/L de Nitrato.

O Gráfico 7 abaixo mostra o comportamento do Nitrato nos três experimentos, comparando-os.

**Gráfico 7 - Acompanhamento do Nitrato**



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Analisando os dados de antes do tratamento para depois do tratamento pode-se observar um aumento na concentração de Nitrato do efluente submetido. No entanto, observa-se também, que os três experimentos apresentaram resultados próximos e tendências parecidas de crescimento.

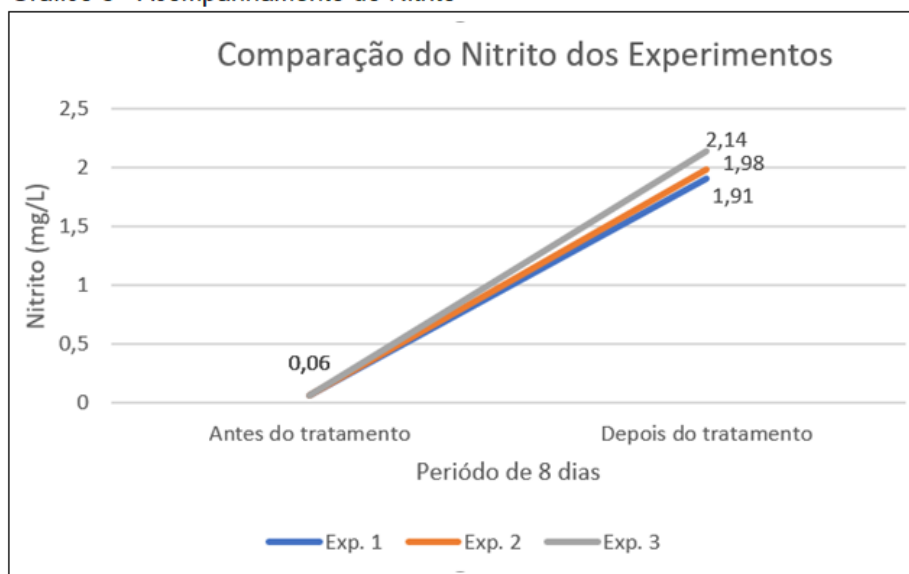
#### **4.10 Resultados para o Nitrito**

Após os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Aqui aborda-se o parâmetro Nitrito na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 0,06mg/L de Nitrito, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 1,91mg/L, o Experimento 2 apresentou 1,98mg/L e o Experimento 3 apresentou 2,14mg/L de Nitrito.

O Gráfico 8 abaixo mostra o comportamento do Nitrito nos três experimentos, comparando-os.

Gráfico 8 - Acompanhamento do Nitrito



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Analisando as concentrações de Nitrito no decorrer do tratamento, observa-se que apresentaram um aumento significativo em suas concentrações, saíram de um valor não detectado pelo método de análise antes do tratamento, para um valor que já foi possível ser detectado nas análises do efluente depois do tratamento.

#### 4.11 Resultados para Nitrogênio Amoniacal

Nesse tópico aborda-se o parâmetro Nitrogênio Amoniacal na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

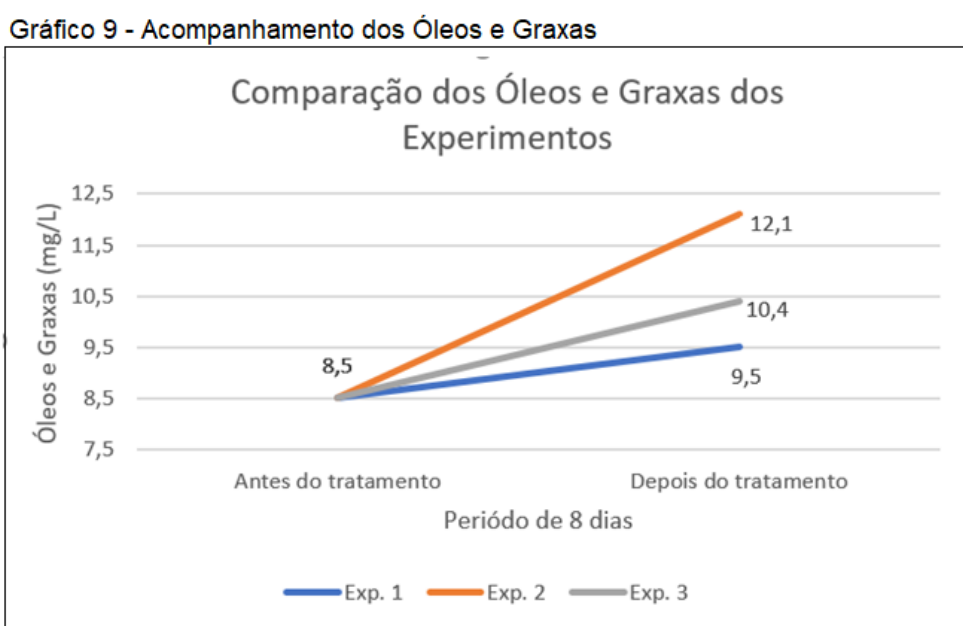
Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha menos Nitrogênio Amoniacal que o método de análise pode medir, ou seja, era inferior ao Limite de Quantificação LQ do aparelho e método de medição, que nesse caso é para valores maiores que 5,25mg/L. O efluente bruto contém uma concentração inferior a essa. O Efluente tratado pelos Experimentos 1, 2 e 3 também apresentaram valores inferiores ao LQ do método de análise, não possibilitando assim a avaliação do comportamento desse parâmetro. Não se sabe sua real concentração, sabe-se apenas que é inferior a 5,25mg/L tanto antes quanto depois do tratamento proposto.

#### 4.12 Resultados para Óleos e Graxas

Seguindo com os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Nesse tópico aborda-se o parâmetro Óleos e Graxas na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 8,5mg/L de Óleos e Graxas, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 9,5mg/L, o Experimento 2 apresentou 12,1mg/L e o Experimento 3 apresentou 10,4mg/L de óleos e graxas.

O Gráfico 9 abaixo mostra o comportamento do Óleos e Graxas nos três experimentos, comparando-os.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Analisando os dados de antes do tratamento para depois do tratamento pode-se observar um pequeno aumento na concentração dos óleos e graxas no efluente submetido. O aumento da concentração não foi significativo para este parâmetro.

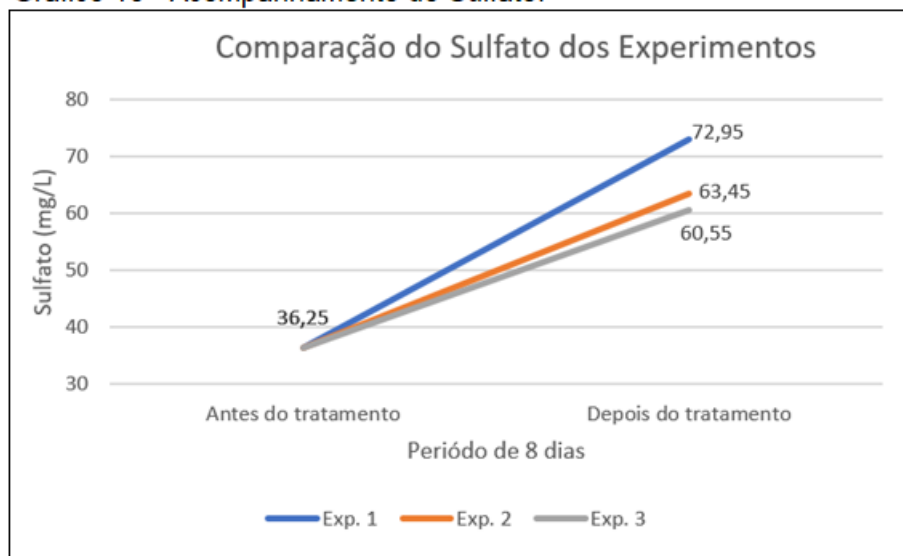
#### 4.13 Resultados para o Sulfato

Assim como nos anteriores, com os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos, pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Analogamente aos anteriores, aqui aborda-se o parâmetro Sulfato na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 36,25mg/L de Sulfato, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 72,95mg/L, o Experimento 2 apresentou 63,45mg/L e o Experimento 3 apresentou 60,55mg/L de Sulfato.

O Gráfico 10 abaixo mostra o comportamento do Sulfato nos três experimentos, comparando-os.

Gráfico 10 - Acompanhamento do Sulfato.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Observando o a concentração do Sulfato no decorrer do experimento, observa-se que ele praticamente dobrou nos experimentos apresentando concentrações médias de 65 mg/L.

#### 4.14 Resultados para o Sulfeto

Nesse tópico aborda-se o parâmetro Sulfeto na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha menos Sulfeto que o método de análise pode medir, ou seja, era inferior ao Limite de Quantificação LQ do aparelho e método de medição, que nesse caso é para valores maiores que 0,017mg/L de Sulfeto. O efluente bruto contém uma concentração inferior a essa. O Efluente tratado pelos Experimentos 1, 2 e 3 também apresentaram valores inferiores ao LQ do método de análise, não possibilitando assim a avaliação do comportamento

desse parâmetro. Não se sabe sua real concentração, sabe-se apenas que é inferior a 0,017mg/L tanto antes quanto depois do tratamento proposto.

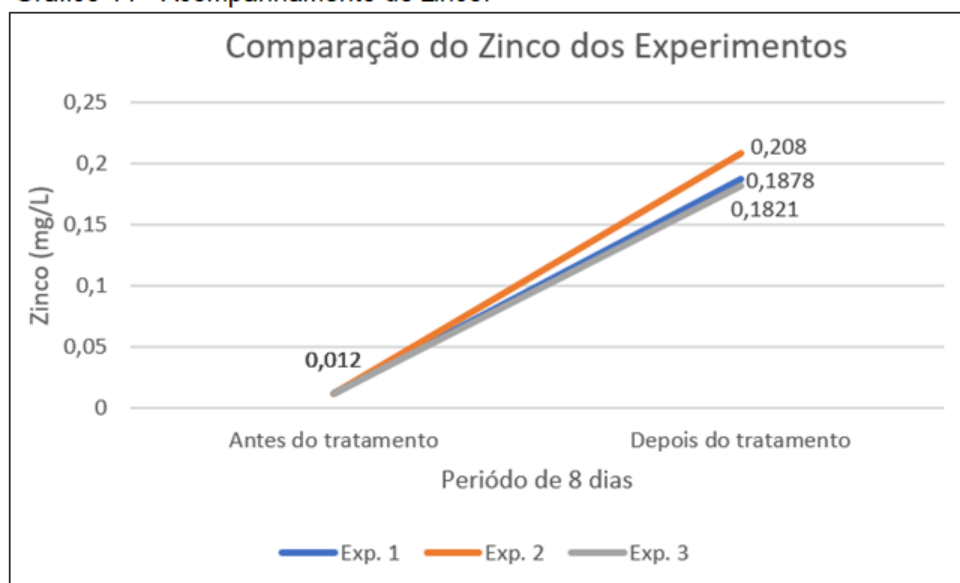
#### 4.13 Resultados para o Zinco

Assim como em todos os anteriores, com os resultados das análises dos efluentes dos três experimentos completos em mãos pode-se expor os resultados e compará-los com a situação do efluente bruto diluído, antes do tratamento e depois do tratamento. Nesse último tópico aborda-se o parâmetro Zinco na amostra, do efluente bruto ao tratado analisando os três experimentos.

Antes do tratamento o efluente bruto diluído que foi utilizado nos experimentos continha 0,012mg/L de Zinco, e ao final dos 8 dias de tratamento, o Experimento 1 apresentou 0,1878mg/L, o Experimento 2 apresentou 0,2080mg/L e o Experimento 3 apresentou 0,1821mg/L de Zinco.

O Gráfico 11 abaixo mostra o comportamento do Zinco nos três experimentos, comparando-os.

Gráfico 11 - Acompanhamento do zinco.



Fonte: Próprio Autor, 2020.

Acompanhando as concentrações do zinco no efluente, observa-se que houve um aumento significativo dele no meio de cultivo. As triplicatas ficaram muito bem representadas nessa análise, as concentrações finais nos três experimentos terminaram muito próximas.

## 4.15 Discussão dos Resultados

Analisando todos os parâmetros estudados nesse trabalho, pode-se observar que a maioria deles apresentaram um aumento de concentração significativo comparando o antes com o depois do tratamento proposto. Dos onze parâmetros analisados sete deles aumentaram de concentração e somente em dois deles obteve-se uma diminuição de concentração. E dois dos parâmetros analisados não foram detectados pelos métodos de análise aos quais foram submetidos. O Quadro 1 abaixo apresenta os resultados obtidos em formato de tabela.

Quadro 1 - Quadro dos resultados obtidos.

QUADRO DE RESULTADOS ANALISADOS	Resultados (mg/L)					
	Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente diluído	Exp 1	Exp 2	Exp 3
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	52	17,333	42,2	42,3	50,6	
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	90,1	30,033	80,2	87,2	88,4	
Ferro Dissolvido	0,2177	0,073	0,0434	0,0385	0,0416	
Manganês	0,0443	0,015	0,0058	0,0082	0,0051	
Nitrato	0,4	0,133	124	131	166	
Nitrito	<0,06	<0,06	1,91	1,98	2,14	
Nitrogênio Amoniacal	<5,25	<5,25	<5,25	<5,25	<5,25	
Óleos e Graxas	25,5	8,5	9,5	10,4	12,1	
Sulfato	108,75	36,25	72,95	63,45	60,55	
Sulfeto	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	<0,017	
Zinco	0,036	0,012	0,1878	0,208	0,1821	

Legenda:

- Aumento da concentração
- Diminuição da concentração
- Concentração não detectada

Fonte: Próprio Autor, 2020.

A DBO e a DQO tiveram um aumento de concentração proporcional, não se sabe ao certo o que causou esse aumento, no entanto tem-se algumas hipóteses. Possivelmente o que causou o aumento de concentração da DBO e DQO pode estar relacionado ao excesso de clorofila morta presente ao final dos 8 dias de cultivos, pois no sexto dia de cultivo, onde houve um declínio na curva de crescimento das triplicatas, a microalga começou a flocular e mudar de cor. Esses são os primeiros indicadores de que as microalgas estão morrendo e de que o cultivo precisa chegar ao final. Deu-se mais dois dias de cultivo nessas condições, e esse tempo pode ter sido suficiente para haver a liberação de clorofila na água. A clorofila produz matéria orgânica, que pode ser liberada de forma dissolvida na água. E a partir da degradação e consumo desse material dissolvido, as concentrações de DBO aumentam e os valores de clorofila diminuem (MAIER, 2009).

Em respeito ao Ferro dissolvido e o Manganês já era esperado uma retenção desses dois metais, pois no meio de cultivo BBM que é utilizado para criar *Chlorella vulgaris*, são adicionados compostos dessa natureza como alimento/nutrientes para as microalgas.

E pelo fato que se é sabido que a microalga utilizada se apresenta muito útil na remoção de metais com de Fe e Mn (MALIK, 2002).

Analisando o Nitrato e o Nitrito ambos tiveram aumento significativo de concentração comparando o antes e o depois do tratamento proposto. A causa desse aumento não é bem definida, possivelmente pode ser explicada pela oxidação de amônia, que pode estar dissolvido no meio, ou do nitrogênio amoniacoal. No entanto, a concentração de nitrogênio amoniacoal é extremamente baixa nesses experimentos. Outra hipótese é que possivelmente esse aumento pode estar associado ao processo de degradação de matéria orgânica, que libera Nitrito, que pode virar Nitrato com a oxidação. Então, esses aumentos na concentração de nitrato podem ser ocasionados pela somatória da oxidação da amônia no meio e pela liberação de nitrito e nitrato na degradação.

Em relação ao nitrogênio amoniacoal e ao sulfeto, suas concentrações foram extremamente baixas durante todo o experimento, nem foi possível analisá-las e detectá-las com o método analítico utilizado. Suas concentrações estavam abaixo dos limites de detecção.

Os óleos e graxas também não tiveram suas concentrações alteradas no decorrer do tratamento, aumentaram pouco, mas nada significativo. Praticamente não teve interação no tratamento, que não apresentou eficiência na retenção do mesmo. Uma possível hipótese desse pequeno aumento de concentração pode se dar pela liberação de lipídios por parte das microalgas em decomposição no meio. As microalgas *Chlorella vulgaris* são ricas na produção de óleos, podendo esses serem utilizados na produção de biocombustíveis.

Em relação ao Sulfato e o Zinco no meio, o tratamento não foi eficiente, por algum motivo as concentrações de zinco e sulfato aumentaram bastante em relação ao efluente inicial. Imagina-se que isso possa ter ocorrido por erros experimentais, pois a água que foi utilizada para diluir o efluente bruto não era água destilada. Possivelmente essa diluição pode ter elevado os níveis de zinco e sulfato no efluente. Esperava-se uma retenção do Zinco ao invés do aumento dele, pois segundo Malik (2002) a microalga *Chlorella vulgaris* apresenta-se muito útil na remoção de metais com de Fe, Mn, Cu e Zn.

## 5. Conclusão

Esse trabalho propôs um método alternativo de tratamento de efluentes com microalgas, e apesar dos parâmetros analisados terem tido comportamentos não esperados, encontram-se dentro do aceito pela legislação vigente. O cultivo das microalgas nesse ambiente foi satisfatório. Fotobiorreatores foram construídos e utilizados com êxito e o cultivo da microalga em inóculo foi um sucesso, já que apresentaram um bom crescimento no meio. No entanto, para submeter o efluente ao tratamento, o mesmo precisou ser diluído para aumentar as probabilidades de sucesso do trabalho, pois foi observado que as microalgas não se adaptaram a crescer no efluente bruto.

Nesse trabalho onze parâmetros de qualidade de água foram medidos e analisados, antes e depois do tratamento proposto. O tratamento se mostrou eficiente na diminuição da concentração de apenas dois parâmetros, sendo eles Ferro dissolvido e Manganês. E para sete dos parâmetros analisados, o tratamento não se apresentou eficiente, sendo eles DBO, DQO, Nitrato, Nitrito, Sulfato, Zinco e óleos e graxas. E para os últimos dois parâmetros, Sulfeto e Nitrogênio Amônia, não se teve participações e interações significativas no trabalho, pois suas concentrações no efluente estavam tão baixas que não foram detectados pelos métodos de quantificação analítica utilizado.

Resumindo, o tratamento não se demonstrou eficiente na diminuição da concentração da maior parte dos parâmetros analisados. No entanto, ao considerar o objetivo geral do trabalho o efluente tratado atende as especificações de lançamento de efluentes estipulado pela CONAMA N° 430/2011 e foi viabilizado o cultivo de microalgas no efluente doméstico comum.

Contudo, apesar dos resultados obtidos, tem-se muitos indícios de que o processo é viável para o tratamento de efluentes. Indicadores como turbidez, cor e cheiro melhoraram muito no efluente tratado. E foi provada a viabilidade de cultivo de *Chlorella vulgaris* em esgoto comum, a produção de microalgas foi significativa no meio, elas poderia ser reaproveitadas na produção de biocombustíveis ou outros fins. No entanto, esse trabalho demanda maior número de experimentos e estudos para melhorar a eficiência do processo. Fica a oportunidade de aprofundamento para futuros trabalhos.

## 6. Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992. “NBR 12209 Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário.” *Abnt*: 12.

ANDRADE, T. De, Martins, G., & Natasha, J. (2015). Tratamento de esgoto sanitário : uma solução simples e ecológica de interesse social, (2009), 83–96.

BAICHA, Z. et al. A critical review on microalgae as an alternative source for bioenergy production: A promising low cost substrate for microbial fuel cells. *Fuel Processing Technology*, v. 154, p. 104–116, 2016.

BANERJEE, C.; DUBEY, K. K.; SHUKLA, P. Metabolic Engineering of Microalgal Based Biofuel Production: Prospects and Challenges. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, 31 mar. 2016.

BROUERS M, Dejong H, Shi DJ, Hall DO. 1989 Immobilized cells:An appraisal of the methods and applications of cell immobilization techniques. In: Cresswell, RC, Rees, TAV and Shah, N, eds. *Algae and Cyanobacterial Biotechnology*. New York: Longman Scientific and Technical Pub; 272–290.

CAI, T.; PARK, S. Y.; LI, Y. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 19, n. C, p. 360–369, 2013.

CONAMA. 2011. “Resolução CONAMA 430/2011.” *Diário Oficial da União*: 9. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 1. ed. São Carlos: Rima, 2005. 1556 p.

ESREY, S.A.; GOUGH, J; RAPAPORT, D; SAWYER, R; SIMPSON-HÉBERT, M; VARGAS, J; WINBLAD, U. Saneamiento Ecológico, tr. da edição em inglês Ecological Sanitation. Agencia Sueca de Cooperación para el desarrollo Internacional - SIDA, Estocolmo, 1998.

EZE, V. C. et al. Kinetic modelling of microalgae cultivation for wastewater treatment and carbon dioxide sequestration. *Algal Research*, v. 32, p. 131–141, 1 jun. 2018.

KIM, Y. M.; CHON, D.; KIM, H.; PARK, C. Investigation of bacterial community in activated sludge with an anaerobic side-stream reactor (ASSR) to decrease the generation of excess sludge. *Water Research*, v. 1, p. 1-9, 2012.

LALIBERTE, G. & de LA NOUE, J. (1993). Auto-, hetero-, and mixotrophic growth of *Chlamydomonas humicola* (Chlorophyceae) on acetate. *J. Phycol.*, 29, 612-620.

LAM, M. K.; YUSOFF, M. I.; UEMURA, Y.; LIM, J. W.; KHOO, C. G.; LEE, K. T.; ONG, H. C. Cultivation of *Chlorella vulgaris* using nutrients source from domestic wastewater for biodiesel production: growth condition and kinetic studies. *Renewable Energy*, v. 103, p. 197-207, 2017.

LAVOIE, A. & de LA NOUE, J. (1985). Hyperconcentrated cultures of *Scenedesmus obliquus*: a new approach for wastewater biological tertiary treatment. *Water Res.*, 19, 1437-1442.

LÚCIO, M. J. Cultivo de microalgas *Chlorella vulgaris* com efluente doméstico como meio de cultura alternativo. 2014. 71 p. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

MAIER, R. M. *Environmental Microbiology*. Academic Press, 2009.

MALIK, N. 2002. "Biotechnological Potential of Immobilised Algae for Wastewater N, P and Metal Removal: A Review." *BioMetals* 15: 377–90.

MATUSIAK, K., Przytocka-Jusiak, M., Leszcznska-Gerula, K. & Horoch, M. (1976). Studies on the purification of wastewater from the nitrogen fertilizer industry by intensive algal cultures. II. Removal of nitrogen from wastewater. *Acta Microbiol. Pol.*, 25, 361-374.

MOBIN, S.; ALAM, F. Some Promising Microalgal Species for Commercial Applications: A review. *Energy Procedia*, 1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016, 14- 16 December 2016, RMIT University, Melbourne, Australia. v. 110, p. 510–517, 1 mar. 2017.

OLAIZOLA, M. Commercial development of microalgal biotechnology: from the test tube to the marketplace. *Biomolecular Engineering*, v. 20, n. 4–6, p. 459–466, jul. 2003.

PIVELI, Roque Passos. 2004. "Tratamento De Esgotos Sanitários." *Ufal*: 71. <http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/APOSTILA - TRATAMENTO DE ESGOTOS.pdf>.

PROENÇA, H. C., Helena, L., Souza, P., Jardim, W., Lacreata, E. T., Filho, D. T., ... Reda, D. L. (2016). INOVAÇÃO NO TRATAMENTO DE ESGOTO EM SISTEMA ISOLA-

DO : VIABILIDADE DA APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA CLEARTEC® NUM CONDOMÍNIO PRIVADO INNOVATION IN WASTEWATER TREATMENT AT AN ISOLATED SYSTEM: FEASIBILITY OF APPLYING THE CLEARTEC® TECHNOLOGY TO A CLOSED CONDOMINIUM, 14–19. <https://doi.org/10.14684/SHEWC.26.2016.14-19>

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia Vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2007. 906p.

RICHMOND A, BECKER EW. 1986 Technological aspects of masscultivation – A general outline. In: Richmond A, ed. *Handbook of Microalgal Mass Culture*. Boca Raton: CRC Press Inc.;245–263. RIDDERSTOLPE, P. Introduction to greywater management. Stockholm Environment Institute - SEI, Uppsala, 2004.

ROGERS, K. *Fungi, algae and protists*. New York: Britannica Educational Publishing/Rosen Educational Services, 2011.

SAFIA, C.; ZEBIBA, B.; MERAHA, O.; PONTALIERA, P. Y.; VACA-GARCIAA, C. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 35, p. 265- 278, 2014.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M.; ABE, D. S.; ROCHA, O.; STARLING, F. *Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas*, 2006.

VON SPERLING, M. *Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos*. Volume 1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Belo Horizonte, 1995.

VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1996. 243 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 1)

YEH, K. L.; CHANG, J. S. Effects of cultivation conditions and media composition on cell growth and lipid productivity of indigenous microalga *Chlorella vulgaris* ESP31. *Bio-resource Technology*, v. 105, p. 120-127, 2012.