

**RELATÓRIO PARCIAL DE BOLSA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
EDITAIS PIC&DTI, PIPES E PIBIC-EM Nº 01/2022 (CICLO 2022-2023)**

**Título do Projeto de Pesquisa do Orientador:** Eletrobiorreator a membrana aplicado ao tratamento de efluente da Indústria Têxtil

**Orientador:** Tiago José Belli

**Bolsista/Estudante IC:** Leticia Samara Kruze

**Modalidade de Bolsa:** PIC&DTI

**Vigência das atividades de IC como bolsista neste edital:**

**Data de Início:** 01/09/2022

**Data Fim:** 31/08/2023

**Resumo dos principais tópicos desenvolvidos:**

As atividades foram organizadas em dois segmentos, atividades de pesquisa e atividades práticas no laboratório. Nas primeiras semanas foram realizados treinamentos presenciais sobre formatação e padrões da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), formulação de artigos científicos e relatórios acadêmicos, metodologias para desenvolver pesquisas em bases de dados e elaboração de apresentações orais. Simultaneamente foi estimulado o estudo sobre o tema do projeto de pesquisa, leitura e análise crítica de artigos científicos relacionados com o tema, como as pesquisas anteriormente desenvolvidas no Laboratório de Reuso de Águas (LaRA), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e no Laboratório de Tratamento de Efluentes, do Centro de Educação Superior do Alto Vale do Itajaí (CEAVI) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

As atividades práticas de laboratório incluíram desde a concepção do sistema piloto, composta pela montagem do reator anaeróbio (UASB) e do eletrobiorreator a membrana (EBRM), seguida da manutenção periódica do sistema, sendo realizada por meio da limpeza dos reatores e alimentação diária com solução sintética preparada em laboratório.

Foram desenvolvidas também análises de parâmetros de monitoramento de ambos os reatores, como controle de pH, série de sólidos, consumo energético e temperatura. Exclusivamente para o EBRM, foi monitorado diariamente a pressão transmembrana e a concentração de Oxigênio Dissolvido.

## **Revisão bibliográfica efetuada:**

### **INDÚSTRIA TÊXTIL**

A Indústria Têxtil brasileira detém os índices de quinta maior produtora em nível global e de maior produtora de tecidos e roupas do ocidente (FEBRATEX GROUP, 2019). Um dos estados que mais contribui é Santa Catarina, que é responsável por 26,7% da produção nacional, uma vez que, o município de Brusque é considerado a Capital Nacional da Indústria Têxtil e o município Gaspar é a Capital Nacional da Moda Infantil (FEBRATEX GROUP, 2022). Dentro do Estado, o setor têxtil é o quarto maior contribuinte no PIB, representando 7,3% de participação em relação a outros setores produtivos (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2019).

Apesar da representatividade na economia, a indústria têxtil é caracterizada como um dos setores industriais que mais utilizam recursos naturais, principalmente os recursos hídricos, além, de ser um dos processos produtivos que mais polui o meio ambiente em nível mundial, utilizando anualmente 79 bilhões de metros cúbicos de água (CENTOBELLI et al., 2022).

O elevado consumo de água resulta em um efluente caracterizado pela presença de produtos químicos como ácidos, álcalis, peróxido de hidrogênio, corantes, surfactantes, amido, metais e agentes dispersantes, os quais são responsáveis pela alteração no teor de sólidos suspensos, demanda química de oxigênio, cor, sais e metais pesados (SARI ERKAN et al., 2020). Assim, a disposição do efluente têxtil nos corpos receptores é necessariamente precedida de um tratamento, que tem como desafio principal a remoção da cor e redução da carga orgânica, devido à alta solubilidade dos corantes em meio líquido.

### **CORANTES TÊXTEIS**

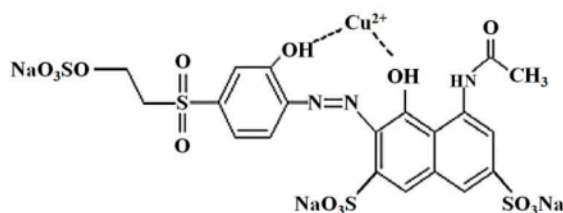
Os corantes são compostos orgânicos produzidos com o objetivo de, a partir da sua capacidade de forte interação com as moléculas dos polímeros presentes na fibra dos tecidos, agregar diferentes cores ao produto têxtil. Por ser altamente solúvel em água, tóxico, mutagênico e carcinogênico, o corante é caracterizado como um poluente (LELLIS et al., 2019), que associado a produtos químicos e auxiliares como fosfatos e nitratos, causa danos estéticos e à qualidade da água (BERRADI et al., 2019).

Um dos tipos de corantes têxteis mais utilizados na indústria é o azo, que representa cerca de 70% dos 9,9 milhões de toneladas utilizadas anualmente. A grande utilização deste corante está associada ao seu baixo custo, facilidade de preparo, versatilidade, solidez e intensidade das cores (RAWAT et al., 2018). Este corante também é caracterizado como um dos mais poluentes, visto que entre 15 e 50% do total utilizado não se liga ao tecido durante o processo de tingimento (LELLIS et al., 2019), resultando, portanto, em um efluente altamente colorido.

As ligações destes corantes podem ser reduzidas em condições anaeróbias, anóxicas e aeróbias, sendo a anaeróbia mais comum por não depender do isolamento de cepas bacterianas e a aeróbia a mais dificultosa, pois a presença do oxigênio pode inibir a atividade enzimática que auxilia na redução das ligações. Já as aminas, que podem utilizar as formas anaeróbia e aeróbia, se beneficiam da presença de oxigênio, pois os grupos funcionais do anel aromático são substituídos por radicais hidroxila, que com a posterior ligação de dois átomos de oxigênio, resulta na quebra do anel. Portanto, para a aplicação de processos biológicos visando a remoção destes corantes, se faz vantajoso o uso da combinação de condições anaeróbias e aeróbias (DALBOSCO, 2021).

Dentre os azo corantes, um dos mais utilizados na indústria têxtil, principalmente por sua alta solubilidade em água e por apresentar técnicas simples de aplicação, é o Remazol Violeta Brilhante 5R (RBV5R), com fórmula molecular  $C_{20}H_{16}N_3Na_3O_{15}S_4$  e estrutura química apresentada na Figura 1. Apesar das vantagens funcionais de sua aplicação, assim como os demais azo corantes, este também é extremamente poluente e de difícil remoção, visto sua estrutura conjugada ser extremamente estável (IZWAN ANTHONYSAMY; AHMAD; NASEHIR, 2023).

Figura 1: Estrutura química do corante Remazol Violeta Brilhante 5R



Fonte: Ravadelli et al. (2021).

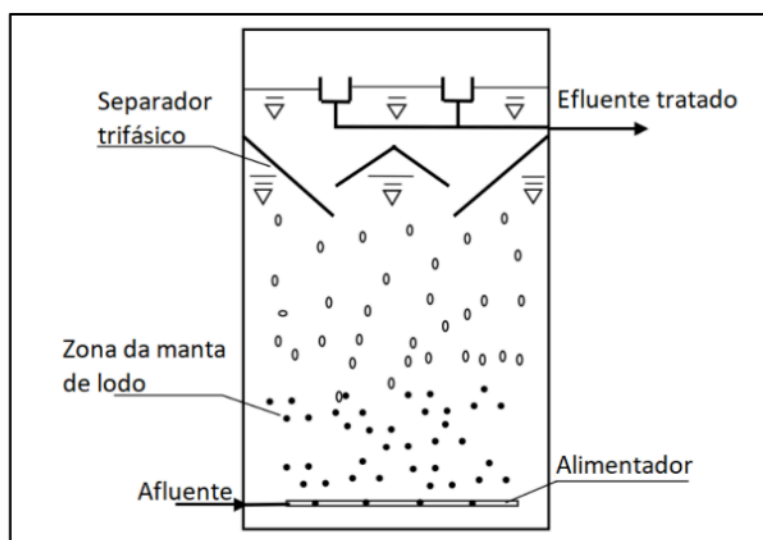
Visando a remoção deste corante e demais poluentes dos efluentes têxteis, se faz satisfatória a combinação de métodos de tratamento físicos e biológicos, sendo que os processos biológicos apresentam vantagens ecológicas e econômicas em comparação com os tratamentos físico-químicos, pois promovem a degradação dos contaminantes sem produzir resíduos secundários concentrados (SARI ERKAN et al., 2020).

Um método que está sendo estudado é o uso de Eletrobiorreatores a Membrana (EBRM), precedidos de reatores anaeróbios, tecnologia recente que combina o tratamento biológico e a utilização de membranas de filtração, resultando em efluentes de alta qualidade, menor produção de lodo e requer menor espaço de implementação (BATTISTELLI *et al.*, 2018). Para agregar ainda mais eficiência ao tratamento do efluente o sistema é antecedido de um reator UASB (Upflow Anaerobic Sludge Reactor) que é caracterizado por ser um reator anaeróbio de fluxo ascendente.

## REATOR UASB

O funcionamento dos reatores UASB é baseado na utilização da biomassa presente em meio líquido, que é responsável por formar pequenos aglutinados de microrganismos e que formam posteriormente mais biomassa. O nome do reator se refere a sua alimentação dada pelo fundo em fluxo ascendente, visando gerar o contato do efluente com a biomassa presente na zona da manta de lodo. A presença do separador trifásico proporciona a separação das fases líquida, sólida e gasosa do tratamento. O gás produzido pelas bactérias anaeróbias é encaminhado ao topo para coleta, o líquido sobrenadante para as calhas de distribuição e os sólidos colidem com a barreira física e retornam à manta de lodo (DALBOSCO, 2021).

Figura 1 - Representação de um reator UASB clássico.



Fonte: Adaptado de (XU et al., 2018) apud Dalbosco, (2021).

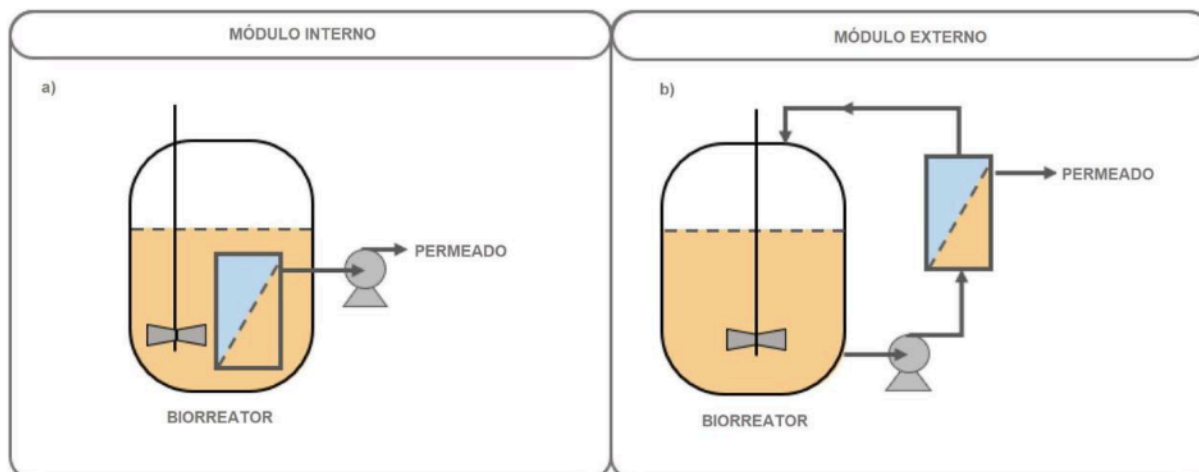
## BIORREATORES À MEMBRANA

O biorreator a membrana é caracterizado pela associação de tratamentos biológicos aeróbios ou anaeróbios, análogos ao processo de lodos ativados convencionais, com o processo físico de separação do lodo ativado do efluente tratado, utilizando as membranas. O uso destas membranas possibilita a completa retenção dos sólidos, o que permite a operação do sistema com uma maior concentração de biomassa, maiores tempos de retenção celular (TRC) e menores tempos de retenção hidráulica (TRH). Em decorrência da caracterização operacional, às unidades de tratamento são mais compactas, produzem menos lodo e um efluente tratado de melhor qualidade (SANTOS, 2013).

Os biorreatores à membrana podem ser classificados em duas configurações, podendo ser de módulo externo e módulo interno. Na configuração interna, as membranas são imersas no

biorreator, o que elimina a necessidade de utilização de energia para realizar a recirculação do líquido, a qual é a problemática do biorreator de módulo externo, onde as membranas são conectadas ao biorreator e o líquido é recirculado através de uma bomba. No entanto, o modo interno requer áreas de superfície maiores e necessita de limpeza e manutenção mais recorrente (AKKOYUNLU; DALY; CASEY, 2021). A Figura 2 representa esquematicamente os dois módulos.

Figura 2 - Configurações a) interna e b) externa de BRMs.



Fonte: Adaptado de Akkoyunlu; Daly; Casey, (2021).

Apesar de promissor, o uso dos BRMs apresenta algumas desvantagens relacionadas ao seu alto custo de operação. Destaca-se principalmente a recorrente incrustação da membrana resultante do acúmulo de produtos microbianos, que gera a necessidade de limpeza e substituição da membrana ou acoplamento de um sistema complementar ao tratamento. Outro fator que encarece o sistema é o alto volume de lodo produzido, decorrente da retenção de biomassa, que requer investimentos extras para seu manuseio e gerenciamento. Também pode ser necessário acrescentar um sistema para remoção de fósforo, visto que o BRM pode ser ineficiente neste quesito (GIWA; DINDI; KUJAWA, 2019).

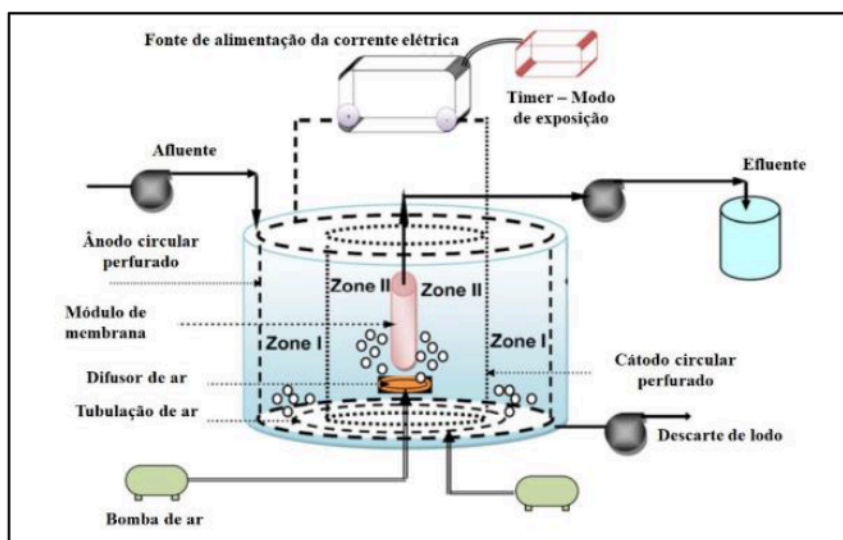
Visando reduzir as desvantagens apresentadas, tem-se estudado a inserção do processo eletroquímico ao BRM. Esta integração pode resultar principalmente em um melhor desempenho hidráulico da membrana sem comprometer a massa microbiana, além de aprimorar a remoção de poluentes, principalmente do fósforo (ASIF; MAQBOOL; ZHANG, 2020).

### **ELETROBIORREADORES À MEMBRANA**

O Eletrobiorreator à membrana (EMBR) se caracteriza pela aplicação de um campo elétrico entre dois eletrodos metálicos instalados no interior do BRM, o que causa a oxidação anódica,

responsável por solubilizar os cátions metálicos do licor misto (BATTISTELLI et al., 2018). A Figura 3 apresenta os componentes do EBRM, sendo um módulo de membranas no centro do reator e um par de eletrodos em torno do módulo. Na Zona I apresentada, ocorrem principalmente processos eletroquímicos e biodegradantes e na Zona II ocorre a biodegradação e a filtração por membrana (RAVADELLI et al., 2021).

Figura 3 - Configuração ilustrativa do EBRM.



Fonte: Ravadelli et al. (2021).

Conforme já citado, a introdução do processo eletroquímico no BRM apresenta vantagens em relação ao BRM convencional. Dentre elas, a principal está relacionada com a melhor remoção de nutrientes sem afetar a remoção de compostos orgânicos e do nitrogênio total, melhora as características do lodo, como o tamanho do floco e o índice de volume do lodo e propicia a redução das incrustações da membrana (ASIF; MAQBOOL; ZHANG, 2020). Conforme Belli et al. (2019) a intensificação da degradação de poluentes e o retardo da colmatação da membrana ocorrem ao induzir os mecanismos eletroquímicos de eletroosmose e eletroforese (BELLI et al., 2019).

O estudo de MA et al. (2015), que analisa o uso do biorreator de membrana eletroquímica (EMBR) para o tratamento de águas residuais de baixa resistência, concluiu que sua utilização em temperatura entre 15 e 20°C resulta em uma redução do lodo de 27,3% em comparação ao MBR, alívio da incrustação da membrana, eficiência total de remoção de nitrogênio de 78,2% e consumo total de energia 20% menor em comparação com o MBR.

Os estudos desenvolvidos por Ravadelli (2021) avaliando o tratamento de efluente contendo o corante Remazol Violeta Brilhante constatou que o EBRM foi responsável pela remoção de 92% e 97% do corante presente. Em comparação ao BRM, o consumo de energia por massa de corante removido foi 17,2% menor após a aplicação da eletrocoagulação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados obtidos na presente revisão bibliográfica foi possível justificar a importância do Projeto de Pesquisa com tema “Eletrobiorreator à membrana aplicado ao tratamento de efluente da Indústria Têxtil”. Este estudo possui significativa representatividade ao avaliar, por meio da experimentação em laboratório, a efetividade do EBRM precedido de reator UASB para o tratamento de efluentes têxteis compostos com azo corantes.

No decorrer da execução do projeto serão realizados diversos ensaios laboratoriais com o intuito de averiguar analítica e estatisticamente a eficiência do sistema piloto, visando atender os objetivos propostos no projeto.

## REFERÊNCIAS

AKKOYUNLU, B.; DALY, S.; CASEY, E. Membrane bioreactors for the production of value-added products: Recent developments, challenges and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 341, p. 125793, 1 dez. 2021. . Acesso em: 11 mar. 2023.

ASIF, M. B.; MAQBOOL, T.; ZHANG, Z. Electrochemical membrane bioreactors: State-of-the-art and future prospects. **Science of The Total Environment**, v. 741, p. 140233, 1 nov. 2020. Acesso em: 11 mar. 2023.

BATTISTELLI, A. A. et al. Effects of electrochemical processes application on the modification of mixed liquor characteristics of an electro-membrane bioreactor (e-MBR). **Water Science & Technology**, v. 78, 28 dez. 2018.. Disponível em: <<https://iwaponline.com/wst/article/78/11/2364/65328/Effects-of-electrochemical-processes-application>>. Acesso em: 11 mar. 2023.

BELLI, T.J., BATTISTELLI, A.A., COSTA, R.E. et al. Evaluating the performance and membrane fouling of an electro-membrane bioreactor treating textile industrial wastewater. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 16, 6817–6826 (2019). <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02245-2>

BERRADI, M.; HSISSOU, R.; KHUDHAIR, M.; ASSOUAG, M.; CHERKAoui, O.; EL BACHIRI, A.; EL HARFI, A. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. **Heliyon**, v. 5, n. 11, p. e02711, 1 nov. 2019. Acesso em: 7 mar. 2023.

CENTOBELLI, P.; ABBATE, S.; NADEEM, S. P.; GARZA-REYES, J. A. Slowing the fast fashion industry: An all-round perspective. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 38, p. 100684, 1 dez. 2022. Acesso em: 6 mar. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Santa Catarina**. 2019. Disponível em: <<https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/sc>> . Acesso em: 06 mar. 2023.

DALBOSCO, V. **Remoção de azo-corante em reator anaeróbio seguido de eletrobiorreator à membrana híbrido**. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230982>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

FEBRATEx GROUP. **O potencial da indústria têxtil no Brasil e como investir**. 2019. Disponível em: <<https://fcem.com.br/noticias/o-potencial-da-industria-textil-no-brasil-e-como-investir/>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

FEBRATEX GROUP. **Setor têxtil catarinense é um dos que mais impulsiona arrecadação no estado em 2021**. 2022. Disponível em: <<https://fcm.com.br/noticias/setor-textil-catarinense-e-um-dos-que-mais-impulsiona-arrecadacao-no-estado-em-2021/>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

GIWA, A; DINDI, A; KUJAWA, J. Membrane bioreactors and electrochemical processes for treatment of wastewaters containing heavy metal ions, organics, micropollutants and dyes: Recent developments. **Journal of Hazardous Materials**, v 370, p 172-195, 15 maio 2019. Acesso em: 11 mar. 2023.

IZWAN ANTHONYSAMY, S.; AHMAD, M. A.; NASEHIR, N. K. Insight the mechanism of MgAl/layered double hydroxide supported on rubber seed shell biochar for Remazol Brilliant Violet 5R removal. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 16, n. 4, p. 104643, 1 abr. 2023. Acesso em: 9 mar. 2023.

KHAN, W. U.; AHMED, S.; DHOBLE, Y.; MADHAV, S. A critical review of hazardous waste generation from textile industries and associated ecological impacts. **Journal of the Indian Chemical Society**, v. 100, n. 1, p. 100829, 1 jan. 2023. Acesso em: 6 mar. 2023.

LELLIS, B.; FÁVARO-POLONIO, C. Z.; PAMPHILE, J. A.; POLONIO, J. C. Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 3, n. 2, p. 275–290, 1 jul. 2019. Acesso em: 7 mar. 2023.

MA, J; WANG, Z; HE, D; LI, Y; WU, Z. .Long-term investigation of a novel electrochemical membrane bioreactor for low-strength municipal wastewater treatment. **Water Research**, v. 78, p. 98-110, 1 jul. 2015. Acesso em: 11 mar. 2023.

RAVADELLI, M. **Aplicação de eletrocoagulação em um biorreator a membrana precedido de tanque anóxico para o tratamento de efluente têxtil**. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/227182>>. Acesso em: 06 mar. 2023.

RAWAT, D.; SHARMA, R. S.; KARMAKAR, S.; ARORA, L. S.; MISHRA, V. Ecotoxic potential of a presumably non-toxic azo dye. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 148, p. 528–537, 1 fev. 2018. Acesso em: 7 mar. 2023.

SANTOS, L.S. **Avaliação do desempenho de um biorreator com membranas aeróbio com adição de carvão ativado em pó no tratamento de vinhoto**. 2013. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-99MJ5B/1/disserta\\_\\_o\\_\\_vers\\_\\_o\\_\\_final\\_\\_impress\\_\\_o.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-99MJ5B/1/disserta__o__vers__o__final__impress__o.pdf)>. Acesso em: 11 mar. 2023.

SARI ERKAN, H.; ÇAĞLAK, A.; SOYSALOGLU, A.; TAKATAS, B.; ONKAL ENGIN, G. Performance evaluation of conventional membrane bioreactor and moving bed membrane bioreactor for synthetic textile wastewater treatment. **Journal of Water Process Engineering**, v. 38, p. 101631, 1 dez. 2020. Acesso em: 07 mar. 2023.

XU, H. et al. Recent advances in anaerobic biological processes for textile printing and dyeing wastewater treatment: a mini-review. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 34, n. 11, p. 1–9, 2018 apud DALBOSCO, V. **Remoção de azo-corante em reator anaeróbio seguido de eletro-biorreator à membrana híbrido**. 2021. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230982>>. Acesso em: 10 mar. 2023.



Cronograma estabelecido para esse período: ( X ) cumprido ( ) não cumprido

**Dificuldade(s) encontrada(s):**

As maiores dificuldades encontradas estão relacionadas ao entendimento do funcionamento de cada reator e como ele realiza o tratamento dos efluentes, visto que cada um utiliza diferentes vias metabólicas e distintos processos operacionais. A resolução da problemática se deu por meio de explicações *in loco*, visualizando os componentes dos equipamentos, seu funcionamento e manutenção. Ademais, o entendimento foi complementado por meio da leitura de artigos científicos.

Destaca-se também a apresentação de conceitos novos, conceitos esses estudados em disciplinas de fases mais avançadas da graduação, como licor misto, tempo de retenção hidráulica e de retenção celular. A partir da leitura em diferentes artigos o entendimento desses conceitos e sua utilização no projeto tornaram-se elucidados.

**Assinatura bolsista:**

**Leticia Samara Kruze**

**Data:**

16/03/2023

**Assinatura orientador:**



Documento assinado digitalmente

TIAGO JOSE BELLI

Data: 15/03/2023 15:40:35-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Data:**




16/03/2023

## Página de assinaturas

*Leticia Samara Kruze*

**Leticia Kruze**  
128.494.349-65  
Signatário

### HISTÓRICO

- 15 mar 2023**  
10:23:50  **Leticia Samara Kruze** criou este documento. (E-mail: leticiakruze07@gmail.com, CPF: 128.494.349-65)
- 15 mar 2023**  
10:23:52  **Leticia Samara Kruze** (E-mail: leticiakruze07@gmail.com, CPF: 128.494.349-65) visualizou este documento por meio do IP 200.135.74.125 localizado em Florianópolis - Santa Catarina - Brazil.
- 15 mar 2023**  
10:23:57  **Leticia Samara Kruze** (E-mail: leticiakruze07@gmail.com, CPF: 128.494.349-65) assinou este documento por meio do IP 200.135.74.125 localizado em Florianópolis - Santa Catarina - Brazil.

