

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ARIADNE BATISTA GONÇALVES

**DEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR BACTÉRIAS ISOLADAS DO
AMBIENTE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2

LONDRINA

2022

ARIADNE BATISTA GONÇALVES

**DEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR BACTÉRIAS ISOLADAS DO
AMBIENTE**

**DEGRADATION OF TEXTILE DYES BY BACTERIA ISOLATED FROM THE
ENVIRONMENT**

Trabalho de Conclusão de Curso 2 de graduação
apresentado como requisito à obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Ambiental da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná,
Câmpus Londrina.

Orientador: Prof^a Dr^a Luciana Furlaneto Maia

LONDRINA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ARIADNE BATISTA GONÇALVES

**DEGRADAÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR BACTÉRIAS ISOLADAS DO
AMBIENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
para obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 20 de junho de 2022

Prof. Dr. Bruno de Oliveira Freitas

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dra. Mônica Lúcia Adam

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dra. Luciana Furlaneto Maia

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientadora

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a minha família, em especial a minha mãe Zenilda por todo o apoio e dedicação, não medindo esforços para que alcançasse meus sonhos.

A minha orientadora Luciana, que durante seis anos entre iniciação científica e trabalho de conclusão de curso, foi essencial para a minha caminhada na universidade, sempre me apoiando e orientando de maneira firme e doce. Aos demais docentes que estiveram durante a minha caminhada na universidade.

Aos meus amigos e colegas que estiveram ao meu lado durante todo o período. Em especial Ramily e Deborah que não mediram esforços para que os estudos fossem mais leves e a amizade duradoura. A Carol que esteve ao meu lado durante a presidência da Gaia Junior e se tornou uma grande amiga. A Mariana que desde a infância esteve ao meu lado me apoiando.

E ao meu noivo Afonso que conheci na faculdade e se tornou uma das pessoas mais importantes para mim, me apoiando e fazendo o possível para a minha felicidade.

RESUMO

GONÇALVES, A. B. **Degradação de corantes têxteis por bactérias isoladas do ambiente**. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Curso de Engenharia ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina.

A indústria têxtil é uma das que mais poluem os corpos hídricos, respondendo por 20% da poluição da água no setor industrial, estimando-se o descarte de mais de dois mil tipos de corantes diferentes, levando em consideração os corantes reativos como os mais perigosos. Os tipos de tratamento de efluentes são amplos, mas nenhum com total eficácia, assim como os tratamentos físico-químicos que cerca de 90% dos corantes passam ilesos deste processo. Portanto o investimento em tratamento microbiológico para efluentes têxteis vem aumentando cada vez mais, com o enfoque na biodegradação dos corantes têxteis, tendo em vista que esse processo é de rápido replicação e baixo custo. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo isolar bactérias do ambiente com potencial degradação de corantes têxteis. Os corantes escolhidos para este trabalho foram o amarelo reativo BF-3R, azul reativo BF-5G e vermelho reativo BF-4B. As bactérias foram isoladas de amostras de matéria verde em decomposição em região de mata próximo à Universidade Estadual de Londrina, cidade de Londrina-PR. Os isolados foram incubados em placas de petri contendo os corantes escolhidos, os dois isolados que mais se destacaram passaram pelo processo de descoloração líquida, onde nos tempos de 8, 24 e 48 horas foram retiradas alíquotas de 1ml e realizada a varredura no UV-VIS. Para a eficiência de descoloração foi utilizado a fórmula descrita por Schmidt. Não foi observada degradação do corante amarelo reativo nas condições testadas neste estudo. Os resultados de descoloração dos corantes vermelho reativo e azul reativo foram promissores, obtendo resultados de descoloração já em 8 horas de incubação, com uma eficiência de acima de 80% em ambos os corantes e isolados. Diante dos resultados apresentados nesse estudo, podemos concluir que os dados apresentaram um caminho otimista na perspectiva de uso dessas bactérias para biorremediação de corantes reativos.

Palavras-chave: Corantes reativos; Degradação de corantes reativos; Tratamento biológico.

ABSTRACT

GONÇALVES, A. B. **Degradation of textile dyes by bacteria isolated from the environment.** 47p. Graduate paper (environmental and Sanitary Engineering), Federal Technological University of Paraná. Londrina.

The textile industry is one of those that most pollutes water resources, representing 20% of water pollution in the industrial sector, estimating the disposal of more than two thousand different types of dyes, considering the reactive dyes as the most dangerous. The types of effluent treatment are wide, but none with total effectiveness, as well as the physical-chemical treatments that about 90% of the dyes pass unscathed from this process. Therefore the investment in microbiological treatment for textile effluents has been increasing more and more, focusing on the biodegradation of textile dyes, considering that this process is of fast replication and low cost. Thus the present study aims to isolate bacteria from the environment with potential degradation of textile dyes. The dyes chosen for this work are the reactive yellow BF-3R, reactive blue BF-5G and reactive red BF-4B. The bacteria were isolated from samples of decomposing green matter in a woodland region near the State University of Londrina, city of Londrina-PR. The isolates were incubated in petri plates containing the chosen dyes, and the two isolates that stood out the most underwent the liquid decolorization process, where aliquots of 1ml were taken at 8, 24 and 48 hours and scanned in the UV-VIS. For the decolorization efficiency the formula described by Schmidt was used. No degradation of the reactive yellow dye was observed under the conditions tested in this study. The results of decolorization of the reactive red and reactive blue dyes were promising, obtaining results of decolorization as early as 8 hours of incubation with a 80% or above efficiency for both dyes and isolates. Given the results presented in this study, we can conclude that the data presented an optimistic path in the perspective of using these bacteria for bioremediation of reactive dyes.

Key-words: Reactive Dyes; Reactive Dyes Degradation; Biologic Treatment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Despejos provenientes do processamento de algodão e sintéticos.	13
Figura 2: Exemplos de corantes de origem natural.	16
Figura 3: História do corante sintético. Linha do tempo narrando a trajetória da descoberta dos primeiros corantes sintéticos até a atualidade.	17
Figura 4: Estrutura do corante Vermelho Congo.	18
Figura 5: Estrutura do corante ácido violeta.	18
Figura 6: Estrutura química do corante reativo vermelho BF-4B.	20
Figura 7: Estrutura do corante azul reativo BF-5G.	20
Figura 8: Estrutura do corante amarelo reativo BF-4G.	21
Figura 9: Meio Brain Heart Infusion (BHI) solidificado com adição dos azo-corantes vermelho reativo BF-4B (A), amarelo reativo BF-3R (B), azul reativo BF-5G (C).....	27
Figura 10: Processo da coloração de GRAM.	29
Figura 11: Halo de inibição (seta) formado ao redor das colônias bacterianas, em meios de cultura contendo 50 mg/mL dos corantes (A) azul reativo BF-5G e (B) vermelho reativo BF-4B.	31
Figura 12: Reação morfotintorial dos isolados M4Bac3 e F1Bac11. Aumento de 100x.	32
Figura 13: Perfil espectral dos corantes em vermelho reativo (A e B) e azul reativo (C e D), após ação dos isolados M4Bac3 e F1Bac11.	33
Figura 14: Macrovisualização da coloração do corante azul reativo e vermelho reativo (Ct-controle) e após 8 horas de degradação pelos isolados bacterianos.	35
Figura 15: Curva de crescimento dos isolados M4Bac3 e F1Bac11 nos corantes azul e vermelho reativo.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Isolados bacterianos de origem ambiental e identificação de Gram, morfologia celular e capacidade de descolorir os corantes.....	28
Tabela 2: Percentual de eficiência de degradação dos corantes azul reativo e vermelho reativo pelos isolados F1Bac11 e M4Bac3.	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Principais parâmetros físico-químicos do efluente têxtil. 14

Quadro 2: Limitações dos métodos mais utilizados para tratamento de efluentes têxteis.
.....23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1 EFLUENTES TÊXTEIS	13
3.2 CORANTES TÊXTEIS: ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO.....	15
3.2.1 CORANTE VERMELHO REATIVO	19
3.2.2 CORANTE AZUL REATIVO	20
3.2.3 CORANTE AMARELO REATIVO.....	21
3.3 IMPACTO AMBIENTAL DOS CORANTES TÊXTEIS	21
3.4 TRATAMENTO EM EFLUENTES TÊXTEIS	22
3.4.1 TRATAMENTO MICROBIOLÓGICO DOS EFLUENTES TÊXTEIS.....	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1 CORANTES TÊXTEIS.....	26
4.2 OBTENÇÃO DOS ESPECTROS E TESTES DE ESTABILIDADE DOS CORANTES	26
4.3 LOCAL DE COLETA DOS ISOLADOS BACTERIANOS.....	26
4.4 ISOLAMENTO BACTERIANO.....	26
4.5 COLORAÇÃO DE GRAM	28
4.6 TESTE DE DESCOLORAÇÃO EM CULTURA LÍQUIDA	29
4.7 ANÁLISE DE CONTAGEM CELULAR.....	29
4.8 EFICIÊNCIA DE DESCOLORAÇÃO	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6. CONCLUSÃO.....	40
7. REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Durante os últimos séculos, corpos hídricos têm sofrido aumento nos níveis de poluição, parte disso é ocasionado devido ao crescimento do setor industrial que se fixou como forma produtora de trabalho na sociedade. Dentre este setor, destaca-se a indústria têxtil, considerada uma das líderes em poluição hídrica (PHUGARE et al., 2011).

O Brasil é considerado o quinto maior produtor têxtil mundial, com todas suas etapas de produção, desde fiação, tecelagem e por fim o beneficiamento. Embora seja de grande contribuição econômica, esse segmento industrial se destaca como o maior poluidor global do meio ambiente, respondendo por 20% da poluição da água, ao liberar efluentes contendo corantes sintéticos nos corpos d'água receptores.

Estima-se que exista mais de dois mil tipos diferentes de corantes têxteis, sendo os corantes reativos os mais problemáticos para o ambiente, pois possuem alta solubilidade em água e grande estabilidade. Dentro desta classe estão os corantes azul reativo, amarelo reativo e vermelho reativo, que possuem bifuncionalidade devido a presença do grupo azo (GUARATINI; ZANONI, 2000).

O tratamento desses corantes normalmente é feito por processos físico-químicos e biológicos, mas devido à alta solubilidade e estabilidade, os processos físico-químicos convencionais acabam não sendo totalmente eficientes em sua remoção.

Estudos relacionados a microrganismos para o processo de biorremediação em efluentes industriais estão em discussão nas últimas décadas, principalmente na utilização de bactérias com potencial de degradação, por ser um método de baixo custo e alta reprodutibilidade, tornando-se a alternativa mais promissora em tratamento de efluentes.

A taxa volumétrica extremamente alta de efluente industrial combinada com o aumento do rigor da legislação, faz a pesquisa de tecnologias apropriadas de tratamento ser uma prioridade (ROMERO et al. 2019).

Desta forma, este trabalho propõe o estudo de isolamento e caracterização de bactérias isoladas do ambiente para a degradação dos corantes vermelho reativo, azul reativo e amarelo reativo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo isolar bactérias do ambiente com potencial capacidade de descoloração de corantes têxteis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Isolar bactérias do ambiente com potencial capacidade de descoloração dos corantes vermelho reativo, azul reativo e amarelo reativo;
- Determinar a característica morfo-tintorial do isolado;
- Avaliar o processo de descoloração em cultura líquida em diferentes tempos de incubação;
- Analisar a descoloração dos corantes através de análises por UV-VIS.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 EFLUENTES TÊXTEIS

A indústria têxtil é uma das indústrias que mais consomem água no seu processo produtivo, e com seu crescimento de 8,3% ao ano, esse consumo também aumenta. O volume de água na Terra hoje é de 1,26 bilhões km³, mas somente 2% é água potável, e a indústria têxtil utiliza de 4% por ano desta água potável para seu processo industrial, chegando a ser aproximadamente 400 litros de água por quilograma de tecido, variando conforme a fibra têxtil passada no processo. A Figura 1 demonstra algumas etapas do processo têxtil onde há entrada de água e saída de efluente.

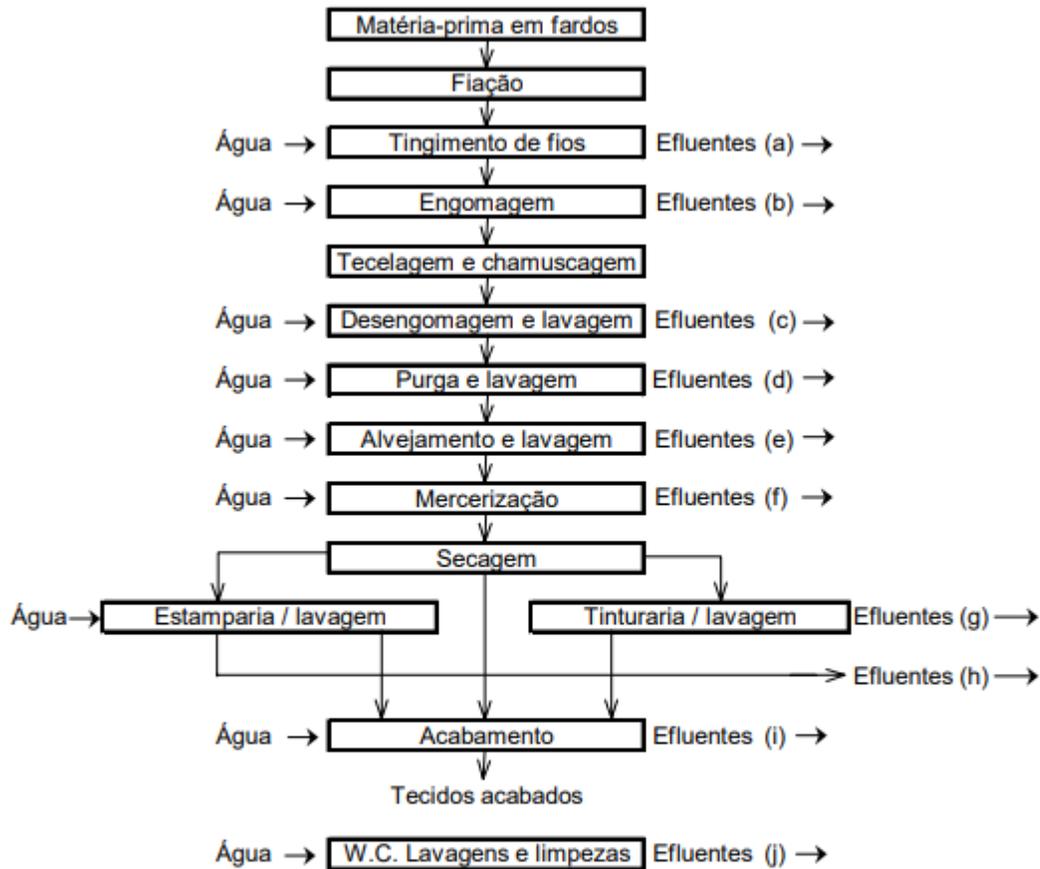
De acordo com Hassemer e Sens (2002) a indústria têxtil, uma das mais importantes indústrias brasileiras, está entre as que mais consome água no seu processo.

O processo industrial têxtil possui três etapas, a fiação, tecelagem e o beneficiamento, nessa etapa também é feito o processo de tingimento dos tecidos, sendo a última etapa a que mais consome água, conseqüentemente a que mais gera efluentes.

Durante o processo de tingimento, é relatado a perda de 10 a 20% de corantes na lavagem, dando a característica principal dos efluentes têxteis que é sua coloração forte. Proporciona ao efluente alta variabilidade de pH e temperatura, elevando a Demanda Química de Oxigênio - DQO, e a Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO do efluente. O fato mais preocupante nesses efluentes é a presença de substâncias tóxicas (Quadro 1).

Corantes têxteis são identificados como os compostos mais problemáticos nos efluentes têxteis devido a sua alta solubilidade na água e baixa degradabilidade, alta carga de DBO e DQO, pH alcalino e grande diversidade de contaminantes (LEE et al., 1999). Com isso os efluentes industriais são considerados um dos mais contaminados no setor industrial.

Figura 1: Despejos provenientes do processamento de algodão e sintéticos.



Onde: (a) DBO alta, muitos sólidos e pH de neutro a alcalino; (b) e (c) pH neutro, temperatura, DBO e teor de sólidos totais elevados; (d) temperatura elevada e altos teores de DBO, alcalinidade e teor de sólidos totais; (e) DBO elevada, pH alcalino e muitos sólidos; (f) DBO baixa, pH fortemente alcalino e poucos sólidos; (g) pH neutro a alcalino, muitos sólidos, e alta DBO; (h) elevada DBO, pH alcalino; (i) elevada DBO e pH alcalino; (j) DBO, sólidos e pH alcalino. (Fonte: Braile e Cavalcanti, 1993 e Wesley, 1977)

Fonte: BRAILE E CAVALCANTI, 1993; WESLEY, 1997

Quadro 1: Principais parâmetros físico-químicos do efluente têxtil.

Parâmetro	Característica
-----------	----------------

Composição Química	Aminas, corantes, dextrinas, gomas, graxas, pectinas, alcoóis, ácido acético, sabões e detergentes e compostos inorgânicos como hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto.
Cor	Concentração elevada
Corante	Fixação incompleta gerando perdas de 10 a 20%
DBO	Concentração elevada
DQO	Concentração elevada
Metais pesados	Formados a partir da degradação do corante
OD	Concentração baixa
Sólidos suspensos	Concentração elevada
Toxicidade	Concentração elevada (compostos recalcitrantes)
Tratamento biológico com lodos ativados	Remoção parcial da toxicidade e da cor

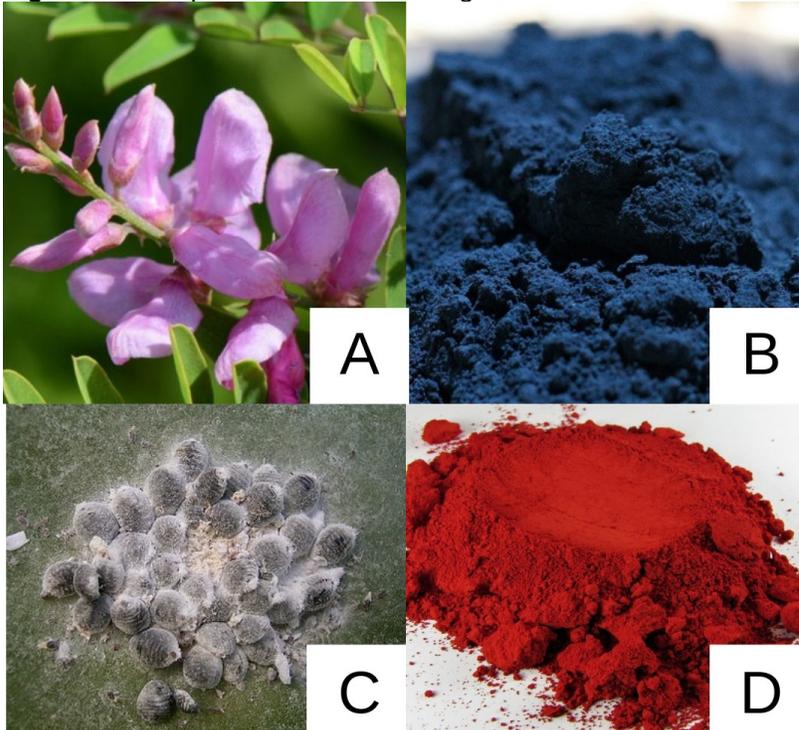
Fonte: QUEIROZ, et al (2019).

3.2 CORANTES TÊXTEIS: ESTRUTURA E CLASSIFICAÇÃO

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química (antraquinona, azo e etc.) ou de acordo com o método pelo qual ele é fixado à fibra têxtil, alguns corantes possuem alta solubilidade em água, mas em sua maioria, os compostos são insolúveis, o que dificulta a descoloração do mesmo (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Foi a partir do século XIX que começaram a ser sintetizados corantes, até então eram utilizados somente corantes naturais, obtidos por meio de fontes naturais como plantas, raízes, folhas, flores, frutos e insetos (Figura 2) (LADCHUMANANANDASIVAM, 2008).

Figura 2: Exemplos de corantes de origem natural.



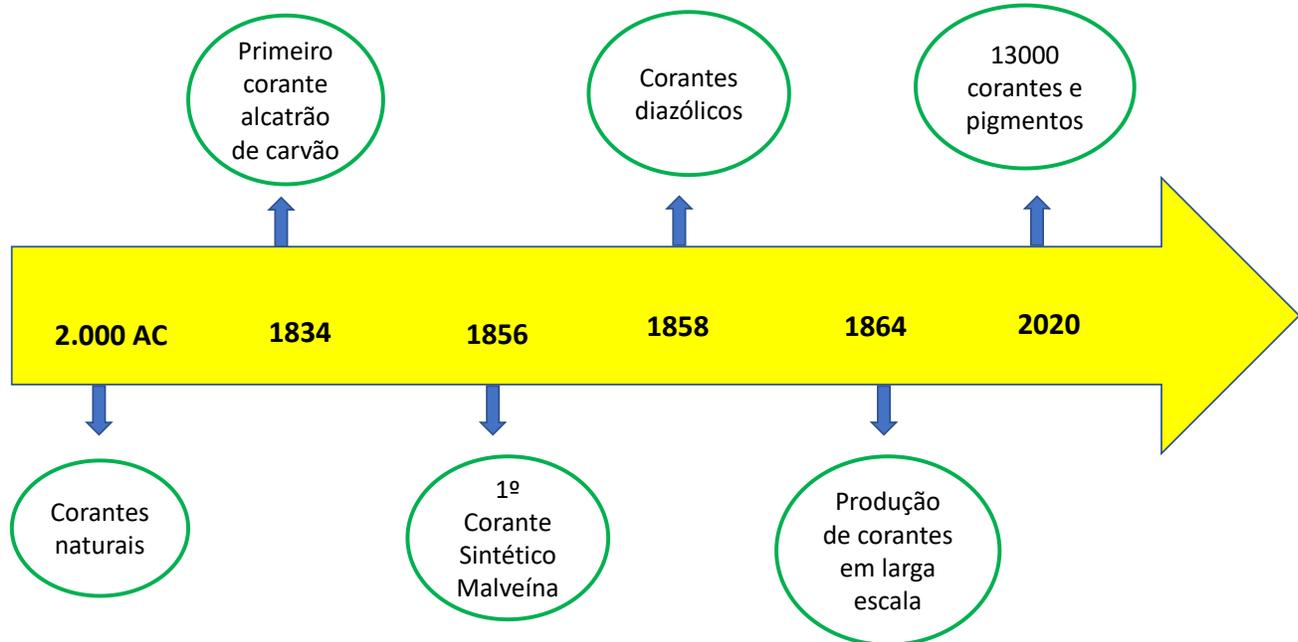
Onde: Da planta *Indigofera tinctoria* (A) é extraído o corante índigo (B) na qual eram famosos por dar a cor as calças Jeans. Os insetos *Dactylopius coccus* (C) dão origem a corante Vermelho carmim (D) utilizados em produtos alimentícios como sucos, iogurte e doces.

Fonte: Montagem a partir de imagens de (A) e (B) Tekstilbilgi (2022), (C) de Wikipedia e (D) de Imbarex.

Esse tipo de tingimento natural foi utilizado até a meados do século XVIII quando, em 1856, o químico britânico William Henry Perkin elaborou o primeiro corante sintético: a Malveína. Essa substância foi formada a partir de quinina, pela oxidação da anilina produzindo uma coloração violácea viva, resistente a luz solar e a lavagem (LADCHUMANANANDASIVAM, 2008).

A partir desse marco histórico, vários outros corantes foram fabricados e o seu número vem aumentando constantemente, bem como seu uso (Figura 3). Atualmente, o *Colour Index* (publicação conjunta da *Society of Dyers and Colourists* (SDC) e da *American Association of Textile Chemists and Colourist* (AATCC)) listaram mais de 13000 corantes e pigmentos e 37000 produtos catalogados pelos nomes comercial (*Colour Index*, 2020).

Figura 3: História do corante sintético. Linha do tempo que indica a trajetória da descoberta dos primeiros corantes sintéticos até a atualidade.



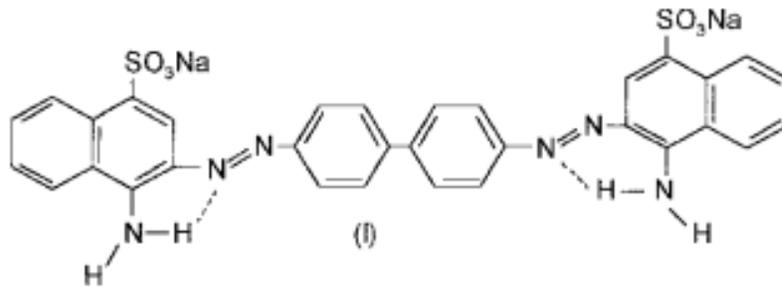
Fonte: Adaptado de Câmara (2017).

Dentre os corantes classificados pelo modo de fixação a fibra, destacam-se: os corantes reativos; diretos ou substantivos; ácidos; azóicos; a tina; de enxofre; dispersos, entre outros, sendo que os mais utilizados são os corantes ácidos e reativos (GUARATINI; ZANONI, 2000)

Corantes a tina ou á Cuba: são corantes baseados nos índigos, tioindigóides e antraquinóides. São insolúveis em água, entretanto, no processo de tintura, são reduzidos em solução alcalina, fazendo com que fiquem solúveis.

Corantes diretos: são solúveis em água, e utilizados na grande maioria em fibras de celulosa, como o algodão, esta classe de corantes é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazo, triazo e etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos (GUARATINI; ZANONI, 2000), um dos corantes mais conhecidos dessa classe é o corante vermelho congo (Figura 4).

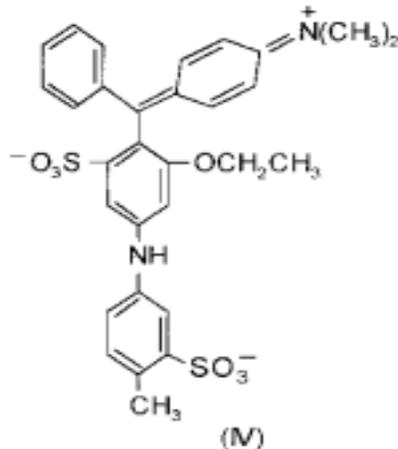
Figura 4: Estrutura do corante Vermelho Congo.



Fonte: GUARATINI; ZANONI, 2000.

Corantes ácidos: solúvel em água, são de grande importância para tintura de fibras proteicas, como lã, e fornecem uma ampla faixa de coloração e grau de fixação, no processo de tintura, esse corante é neutralizado e ligado a fibra através de uma troca iônica com o par de elétrons livres dos grupos amino e carboxilato das fibras proteicas (GUARATINI; ZANONI, 2000). Sua estrutura química é composta pelo grupo azo e outras substâncias que fornecem uma vasta faixa de coloração e alto grau de fixação, nesta classe encontra o corante ácido violeta (Figura 5).

Figura 5: Estrutura do corante ácido violeta.



Fonte: GUARATINI; ZANONI, 2000.

Os corantes reativos, que representam cerca de 30% dos corantes utilizados na indústria têxtil, é um grupo que apresenta alta solubilidade em água, e uma ligação covalente entre o corante e a fibra, onde esta ligação tem maior estabilidade comparado

à outras classes de corantes. Os corantes reativos possuem como característica a alta estabilidade de cor, além da elevada solubilidade em água (SOUZA, 2009).

Os principais corantes reativos possuem a função azo, onde sua reação química se processa diretamente através da substituição do grupo nucleofílico pelo grupo hidroxila da celulose.

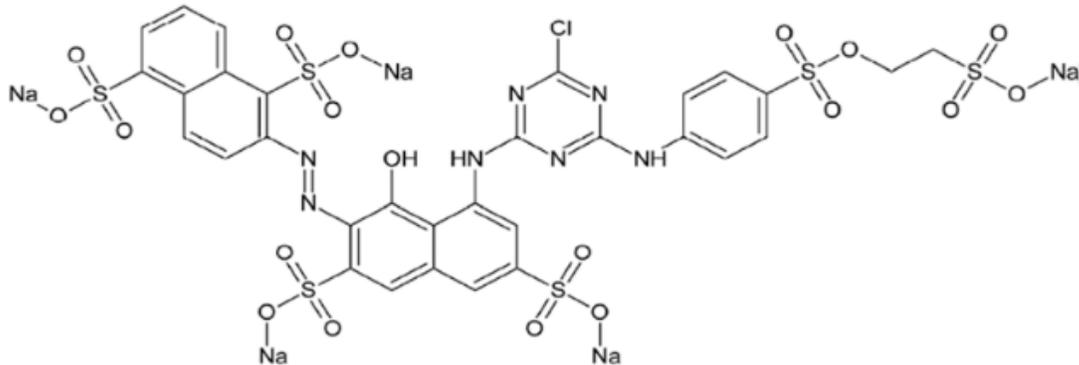
Conforme o estudo de Chagas & Durrant (2001), os corantes reativos são reconhecidamente recalcitrantes e geram aminas aromáticas através da clivagem redutiva das ligações azo por bactérias. Em algumas classes de corantes, principalmente azocorantes, e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (KUNZ et al., 2002).

3.2.1 CORANTE VERMELHO REATIVO

O corante vermelho reativo tem como característica a bifuncionalidade devido à presença de dois grupos reativos na molécula e o grupo azo (CUNHA; SILVA; LEITE, 2014). Estudos sobre este corante ainda são escassos, entretanto encontra-se alguns estudos no qual a remoção do corante vermelho reativo é acima de 90% em técnicas como a eletro-oxidação e foto-oxidação heterogênea. O grupo azo e os grupos sulfônicos tem como finalidade tornar o corante solúvel em água, como é possível ver na sua estrutura química (Figura 6).

Existem diversas estruturas do corante vermelho reativo, como o corante vermelho reativo BF – 4B, que é composto por sistema de cromóforos, ligados a dois sistemas reativos: um grupamento vinil sulfona e outro grupamento cloro triazina, como visto na Figura 6 (BARBOSA et al., 2019)

Figura 6: Estrutura química do corante reativo vermelho BF-4B.

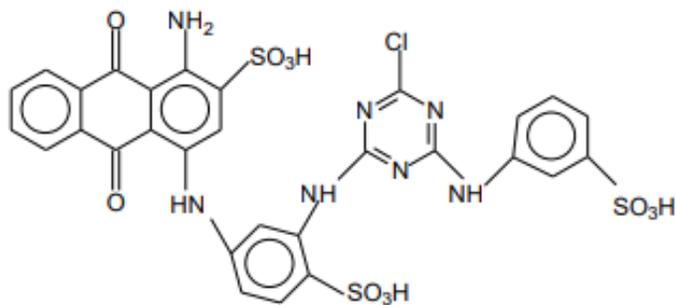


Fonte: BARBOSA et. al., 2019.

3.2.2 CORANTE AZUL REATIVO

O corante azul reativo é um dos pigmentos mais utilizados na indústria têxtil, por ter a mesma característica que o corante vermelho reativo de ser bifuncional, o que acarreta em melhor reprodutibilidade. Entre os mais utilizados está o corante reativo azul BF-5G (Figura 7), que é um corante aniônico normalmente utilizado para o tingimento de celulósicas, por conferir maior estabilidade na cor (HONORATO, 2015).

Figura 7: Estrutura do corante azul reativo BF-5G.

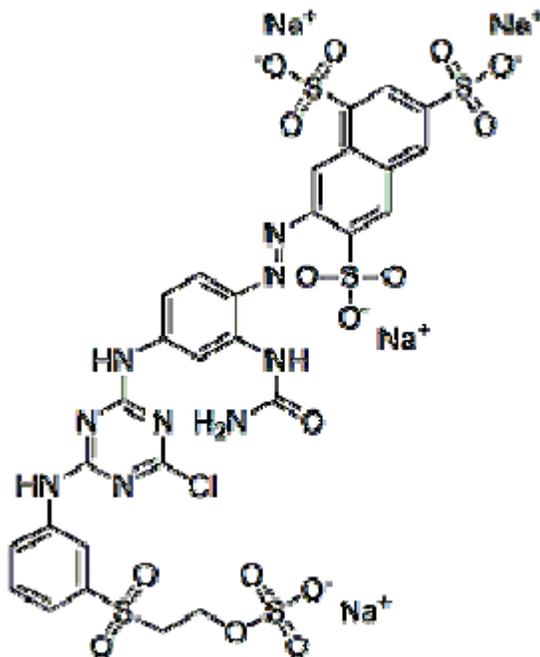


Fonte: HONORATO, 2015.

3.2.3 CORANTE AMARELO REATIVO

Em relação ao perigo do corante amarelo reativo de acordo com a Texpal Indústria Química (2008) o que mais se destaca é a nocividade para organismos aquáticos, este corante ainda é pouco estudado, os mais conhecidos são o corante amarelo reativo BF-4G (Figura 8) e amarelo reativo BF-3R.

Figura 8: Estrutura do corante amarelo reativo BF-4G.



Fonte: FILHO, 2012.

3.3 IMPACTO AMBIENTAL DOS CORANTES TÊXTEIS

O processo de tingimento de tecidos passa por diversas etapas químicas e físicas para melhor fixação do corante. A indústria têxtil possui uma demanda altíssima, onde milhões de compostos químicos tem sido sintetizados, contudo, estima-se que hoje estão disponíveis na indústria cerca de 2000 tipos de corantes.

Estima-se que cerca de 15% da produção mundial de corantes é perdida para o meio-ambiente durante a síntese, processamento ou aplicação desses corantes, sendo

mais de 1 tonelada por dia de corantes que são lançadas para o meio ambiente (GUARATINI; ZANONI, 2000).

Um dos maiores impactos ambientais causados pela indústria têxtil está relacionado as emissões atmosféricas, de resíduos sólidos, ao solo e no descarte de efluentes. Os resíduos sólidos bem como infiltração de águas contaminadas são constantes ameaças para a qualidade do solo no que se refere ao setor têxtil.

A área mais afetada pelo processo de tingimento por corante são os recursos hídricos, pois os corantes possuem em sua composição diversos elementos como ácidos, sólidos solúveis e compostos tóxicos que podem contaminar a água.

Um dos maiores problemas destes efluentes é a dificuldade na remoção dos corantes, por causa da elevada massa molecular e estrutura complexa, geralmente apresentam uma baixa biodegradabilidade (DEY; ISLAM, 2015). Além disso os efluentes são extremamente prejudiciais ao meio ambiente devido à alta toxicidade causada pela presença de enxofre, nitrato, ácidos, compostos de cromo e metais pesados, como cobre, arsênio, chumbo, cádmio, mercúrio e níquel (KANT, 2012).

Outro impacto que ocorre por conta dos efluentes têxteis é a aceleração no processo de eutrofização, este processo é o acúmulo excessivo de matéria orgânica no meio aquático, ofuscando a incidência de luz solar no meio, fazendo com que as algas fotossintéticas não consigam fazer seu processo e liberar oxigênio para os microrganismos aeróbios diminuírem a DBO.

3.4 TRATAMENTO EM EFLUENTES TÊXTEIS

Os efluentes têxteis são despejos líquidos provenientes de etapas do processo industrial, por ter uma composição diversificada, seu tratamento pode ser considerado difícil. Diferentes tratamentos são utilizados para a remoção de corantes e compostos químicos em efluentes, segundo Schimmel (2008), geralmente estes processos são baseados em tratamento biológico, via sistemas de lodo ativado, tratamentos químicos e físicos.

A alta estabilidade química, baixo índice de fixação e elevada solubilidade tornam os corantes reativos resistentes aos processos convencionais de tratamento de efluentes

(BELTRAME, 2006), e cerca de 90% desses corantes passam ilesos dos tratamentos biológicos e físico-químicos.

A técnica mais utilizada para o tratamento destes efluentes é o processo físico e químico, o processo químico nada mais é do que a adição de substâncias químicas para que aconteça a degradação dos corantes, e o processo físico age na separação do resíduo do efluente.

Entre os processos físico-químicos mais utilizados para o tratamento de efluentes industriais é a adsorção, que consegue remover alguns componentes mais estáveis. A adsorção envolve o contato entre um sólido e um fluido ocorrendo a transferência de massa da fase líquida ou gasosa para a superfície do sólido (SANTOS, 2013). Porém esse processo só tem efeito em alguns metais pesados e substâncias tóxicas, outra desvantagem é o descarte do adsorvente após absorver os corantes, sendo um resíduo altamente tóxico.

Para os processos químicos se encontram as micro e nanofiltrações, e separação por membrana, como osmose reversa, que é um processo que minimiza o volume de efluente e possibilita o reuso da água, entretanto, nesses processos é gerado uma grande quantidade de lodo ativado, com um custo alto para disposição final desse resíduo pós processo de tratamento.

No Quadro 2 podemos ver outros processos físico-químicos que são utilizados para o tratamento de efluentes têxteis e suas limitações.

Quadro 2: Limitações dos métodos mais utilizados para tratamento de efluentes têxteis.

Método de tratamento de efluente têxtil	Limitação do Método
Floculação	Produção de lodo
Oxidação eletroquímica	Custo com eletricidade
Troca iônica	Não é adequada para todos os corantes
Ozonização	Curta meia vida do ozônio, e alto custo de energia

Fonte: Adaptado de GOEDERT (2017).

De maneira geral os processos mencionados apresentam altos custos iniciais e operacionais, possuem eficiência limitada e geram outros resíduos que também necessitam de tratamento (SOMASIRI et al., 2008).

Um processo usualmente utilizado é o tratamento biológico que consiste em catalisar a degradação de corantes através de microrganismos, e estes são mais utilizados em lagoas aeróbias e lodo ativado. Esse método vem crescendo em pesquisa por seu baixo custo e estabilidade, contudo, em alguns processos a eficiência na retirada de cor é baixa, como as lagoas aeróbias e lodos ativados.

As lagoas aeróbias são usadas como tratamento de descargas orgânicas leves provenientes de efluentes de outras lagoas (SOUZA, 2009), com a principal função de inibir microrganismos patogênicos, entretanto, sua taxa de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) é baixa.

E os lodos ativados consistem em produzir massa biológica, oferecendo oxigênio para os microrganismos no tanque de aeração para que ocorra a decomposição da matéria orgânica, após isso é passado para o decantador, onde é sedimentado os flocos biológicos que foram formados no tanque, este método produz uma quantidade exacerbada de lodo, o que leva a ser um ponto negativo.

Atualmente alguns pesquisadores estão voltando seus estudos para o tratamento biológico utilizando plantas, onde diversas plantas aquáticas tem alta capacidade de purificação da água e até mesmo a diminuição de microrganismos patogênicos. Segundo Valentim (1999), o tratamento de efluentes por plantas aquáticas além de ser um apelo estético e ecológico, ela age como biofiltro do mau odor.

Outro processo biológico que está em alta nas pesquisas são os processos por wetlands, que assim como outras tecnologias de tratamento, são sistemas biológicos, nos quais a microbiota, que se desenvolve naturalmente no leito, é a principal responsável pela degradação da matéria orgânica presente nos esgotos.

3.4.1 TRATAMENTO MICROBIOLOGICO DOS EFLUENTES TÊXTEIS

Com o crescente desenvolvimento da tecnologia, vem se estudando novos métodos para o tratamento de efluentes têxteis, e o tratamento biológico tem sido alvo desses testes e aprimoramento para uma maior eficiência na biodegradação dos

corantes. Ao longo dos anos inúmeras culturas microbianas têm sido testadas e muitas vêm sendo aplicadas na descoloração de corantes têxteis (NIGAM et al., 1996).

O que se espera destes novos estudos é encontrar microrganismos que consigam degradar em escala os corantes e com baixo custo, sendo uma grande motivação para os pesquisadores desta área. O que torna o processo complicado é a diversidade de componentes no corante, e encontrar um microrganismo que degrade todos esses componentes de uma só vez, levando em consideração que a maioria dos componentes químicos são estáveis e com baixa biodegradabilidade.

Segundo Chen et al. (2003) a eficiência das bactérias depende da sua adaptação no processo, com o passar dos anos, foram surgindo outros estudos nessa área, analisando fungos, actinomicetos e algas. Nigam et al. (1996) relata que os microrganismos que mais estão relacionados aos estudos de degradação de corantes são as bactérias e fungos, principalmente o consorcio de bactérias, e esse consorcio pode ser aprimorado quando se estuda mais de um corante e outros compostos químicos.

Através de processos microbiológicos combinados, anaeróbio e aeróbio usando populações de microrganismos adaptadas e misturadas, acredita-se aumentar ainda mais a degradação de corantes têxteis (ABADULLA et al., 2000a). Para o emprego de consórcios é recomendado que seja intercalado os processos anaeróbios e aeróbios, para alcançar uma degradação completa.

Saratale et al. (2011) relata que de modo geral a degradação de corantes com a função azo (como os corantes reativos) podem ser realizados por bactérias anaeróbias, anaeróbia facultativa e em condições aeróbias.

As bactérias com mais probabilidade de degradação de corantes estão em ambientes onde há alta concentração de matéria orgânica, fazendo com que as bactérias possuam alta taxa de crescimento e alto tempo de detenção celular, o que as tornam eficazes no tratamento de diversos efluentes orgânicos, como os gerados na indústria têxtil (SARATALE et al. 2011).

Os estudos de microrganismos para a degradação de corantes em efluentes têxteis ainda é recente, e um problema sem solução concreta, onde o volume do efluente é menor após o processo biológico, mas os compostos químicos dos corantes ainda estão presentes nos efluentes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CORANTES TÊXTEIS

Os corantes têxteis empregados foram os azo-corantes: vermelho reativo BF-4B, azul reativo BF-5G e amarelo reativo BF-3R. Soluções estoque dos corantes foram preparadas em água ultrapura e a esterilização feita por filtração (0,22 μm , Millipore®). A concentração dos corantes empregadas nos experimentos foi de 50 mg/mL.

4.2 OBTENÇÃO DOS ESPECTROS E TESTES DE ESTABILIDADE DOS CORANTES

Os espectros ultravioleta visível dos corantes foram obtidos por meio da varredura espectral, em duplicata, em diversos comprimentos de onda em espectrofotômetro (SANTOS, 2011). O teste de estabilidade em meio de cultura foi realizado em meio BHI (Brain Heart Infusion) líquido acrescido de 50 mg/mL de corante. Após a homogeneização, a solução foi analisada em espectrofotometria ultravioleta visível em cubetas de quartzo e levada à varredura espectral das amostras entre os comprimentos de onda $\lambda = 190\text{-}700\text{ nm}$ (SANTOS, 2011).

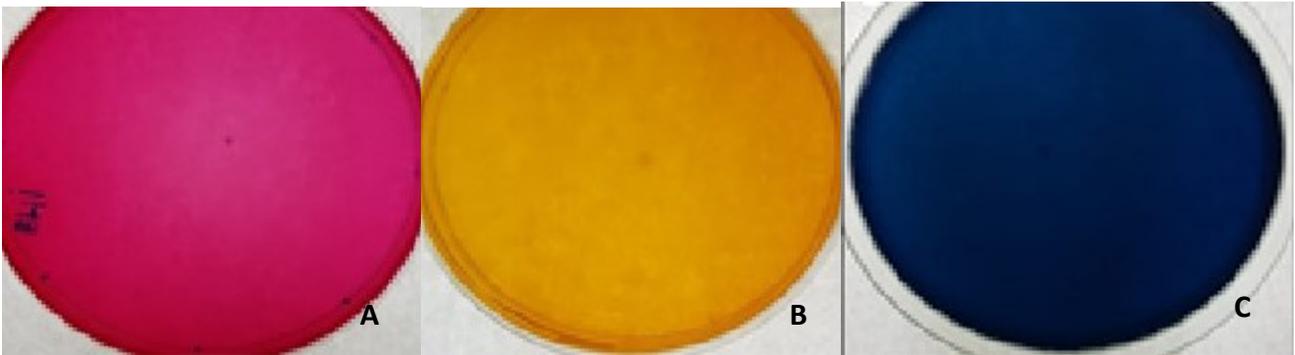
4.3 LOCAL DE COLETA DOS ISOLADOS BACTERIANOS

Amostras de matéria verde em decomposição em região de mata próximo à Universidade Estadual de Londrina, cidade de Londrina-PR. A amostra constou de folhas e galhos em visível processo de decomposição, sendo acondicionados em frascos plásticos estéreis e mantidos no gelo.

4.4 ISOLAMENTO BACTERIANO

A preparação do material coletado foi previamente efetuada no laboratório de Genética de Fungo da Universidade Estadual de Londrina. Para obtenção de isolados bacterianos, após proceder diluições seriadas foram semeadas na superfície de meio BHI solidificado, acrescido dos corantes (Figura 9).

Figura 9: Meio Brain Heart Infusion (BHI) solidificado com adição dos azo-corantes vermelho reativo BF-4B (A), amarelo reativo BF-3R (B), azul reativo BF-5G (C).



Fonte: Renan Cipriano, 2021

As placas foram incubadas a 30 °C, por até 120 horas, sendo observada alterações na coloração das colônias ou descoloração do meio (formação de zonas claras ao redor da colônia).

Os isolados que apresentaram o melhor halo de degradação (mais evidente) foram submetidos a avaliação morfotintorial (Tabela 1). Estes isolados foram submetidos aos testes posteriores.

Tabela 1: Isolados bacterianos de origem ambiental e identificação de Gram, morfologia celular e capacidade de descolorir os corantes.

Isolado	Gram	Morfologia
F1Bac1	-	Bacilo
F1Bac2	-	Cocos
M4Bac3	+	Cocos
M6Bac4	+	Bacilo
M1Bac5	-	Cocos
M1Bac6	+	Cocos
M1Bac7	-	Diplococos
F4Bac8	-	Cocos
M6Bac10	+	Cocos
F1Bac11	+	Cocos
M1Bac12	+	Cocos

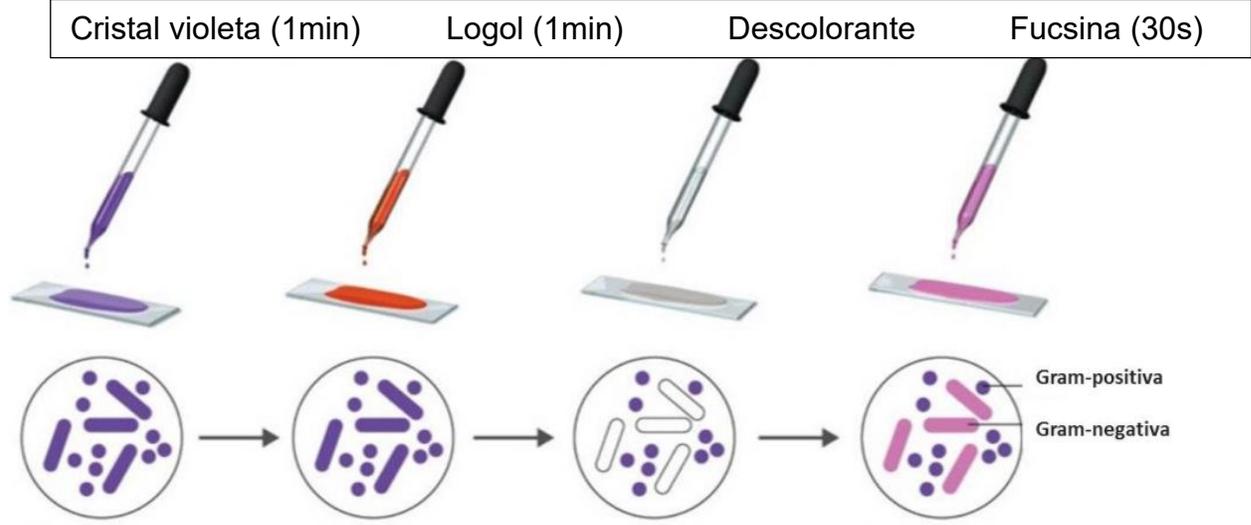
Fonte: Renan Cipriano, 2021

4.5 COLORAÇÃO DE GRAM

A reação morfotintorial foi realizada para confirmar os dados que acompanharam os isolados. Para tanto, uma porção do isolado foi espalhado sobre lâminas e fixado em chama. Após, foi adicionado o corante cristal violeta por 1 min. O excesso de cristal violeta foi escorrido e foi adicionado lugol por 1 min., também retirado o excesso e a lâmina foi lavada com água corrente. Após, foi lavada com álcool-acetona e novamente com água corrente. Por fim, foi adicionado fucsina por 30 segundos, seguido de lavagem com água corrente, e as lâminas foram secas a temperatura ambiente (Figura 10).

As lâminas foram observadas em microscópio óptico, em objetiva de imersão (100x).

Figura 10: Processo da coloração de GRAM.



Fonte: Kasvi, 2019.

4.6 TESTE DE DESCOLORAÇÃO EM CULTURA LIQUIDA

As colônias que apresentaram melhor resultado de descoloração em placa, foram inoculadas em meio BHI líquido acrescido de 50 mg/mL. A concentração celular foi de $1,0 \times 10^6$ UFC/mL.

Os frascos foram incubados a 30 °C em condição estática. Nos tempos de 8, 24 e 48 horas, uma alíquota de 1 mL foi retirada e realizada a varredura em UV-VIS Biochrom Libra S60 nas absorvâncias de 190 a 1100 nm.

4.7 ANÁLISE DE CONTAGEM CELULAR

Para verificar o crescimento bacteriano nos corantes testados foi realizado uma contagem celular pela técnica de Unidade Formadora de Colônia (UFC). Para tanto, a concentração celular de $1,0 \times 10^6$ UFC/mL de cada isolado, foi depositada em meio BHI líquido acrescido de 50 mg/mL de corante. O frasco foi incubado a 30 °C por até 48 hs.

Nos tempos 8, 24 e 48 horas, uma alíquota de 1 mL da cultura, em cada condição, foi retirado e submetido a diluição seriada. Posteriormente, foram selecionados 3 diluições e 0,1 mL de cada foi plaqueado por *spread plate* em meio BHI agar.

As placas foram incubadas a 30 °C por 24 horas, e posteriormente as colônias foram contadas e o cálculo de UFC foi realizado.

4.8 EFICIÊNCIA DE DESCOLORAÇÃO

Para as análises de eficiência de descoloração, alíquotas foram submetidas a análise de comprimento de onda específico para cada corante (determinada nas análises anteriores), seguindo a metodologia descrita por (Schmidt, 2018). A eficiência de descoloração foi obtida utilizando-se a equação 1:

$$\text{Equação 1: } Des (\%) = \left(\frac{OD \text{ inicial} - OD \text{ final}}{OD \text{ inicial}} \right) \times 100$$

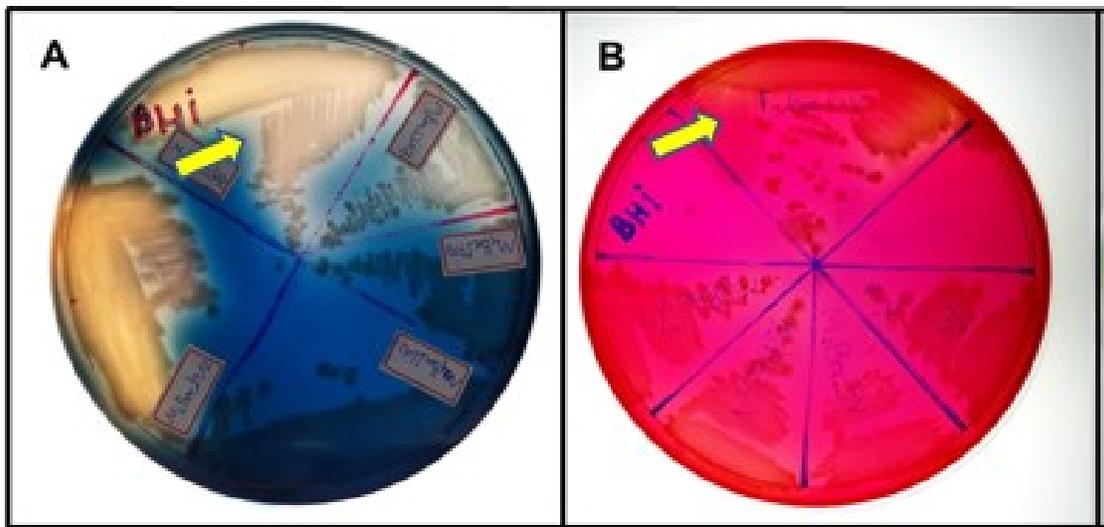
Onde *Des (%)* representa a eficiência da descoloração, *OD inicial* representa o valor da absorbância do meio BHI contendo o corante e *OD final* representa o valor da absorbância após o tratamento com a bactéria.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foram testados dois isolados bacterianos codificados M4Bac3 e F1Bac11, que apresentaram melhor atividade de descoloração para os corantes vermelho reativo BF-4B, azul reativo BF-5G. Não foi observada degradação do corante amarelo reativo nas condições testadas neste estudo.

Para os corantes vermelho reativo e azul reativo diversos isolados apresentaram degradação, observada pela formação de um halo esbranquiçado ao redor da colônia (Figura 11). Os isolados M4Bac3 e F1Bac11 foram provenientes de madeira e folhas, respectivamente (Renan Cipriano, 2021).

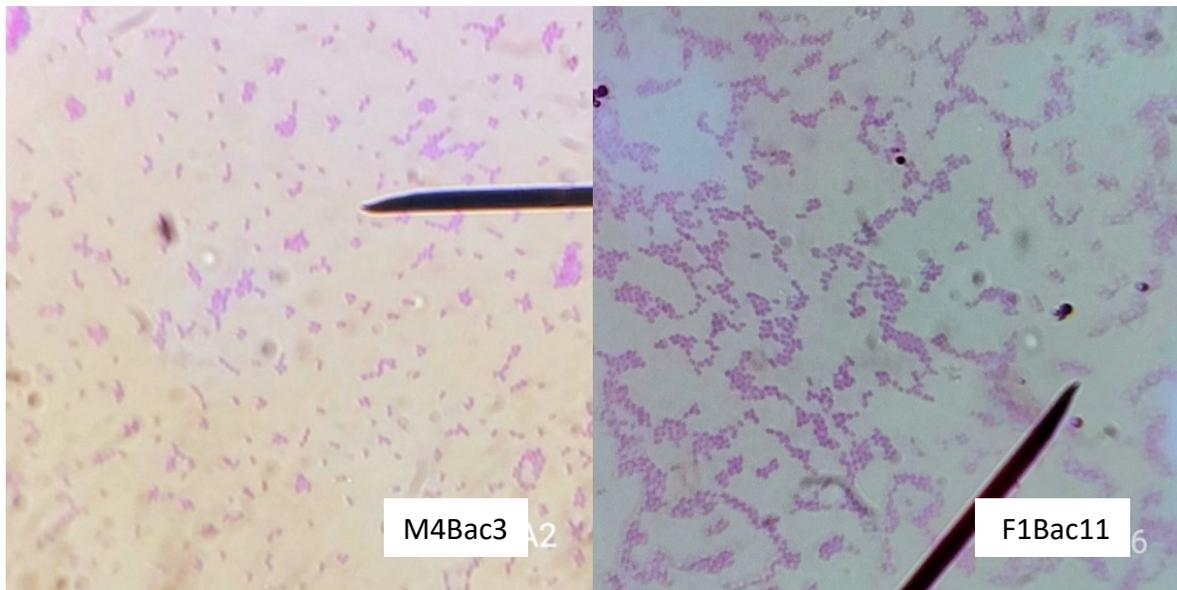
Figura 11: Halo de inibição (seta) formado ao redor das colônias bacterianas, em meios de cultura contendo 50 mg/mL dos corantes (A) azul reativo BF-5G e (B) vermelho reativo BF-4B.



Fonte: Renan Cipriano, 2021.

Os isolados selecionados M4Bac3 e F1Bac11 apresentaram reação morfotintorial após a coloração de Gram, destacando que ambos isolados apresentam morfologia celular como sendo cocos e Gram positivo (Figura 12).

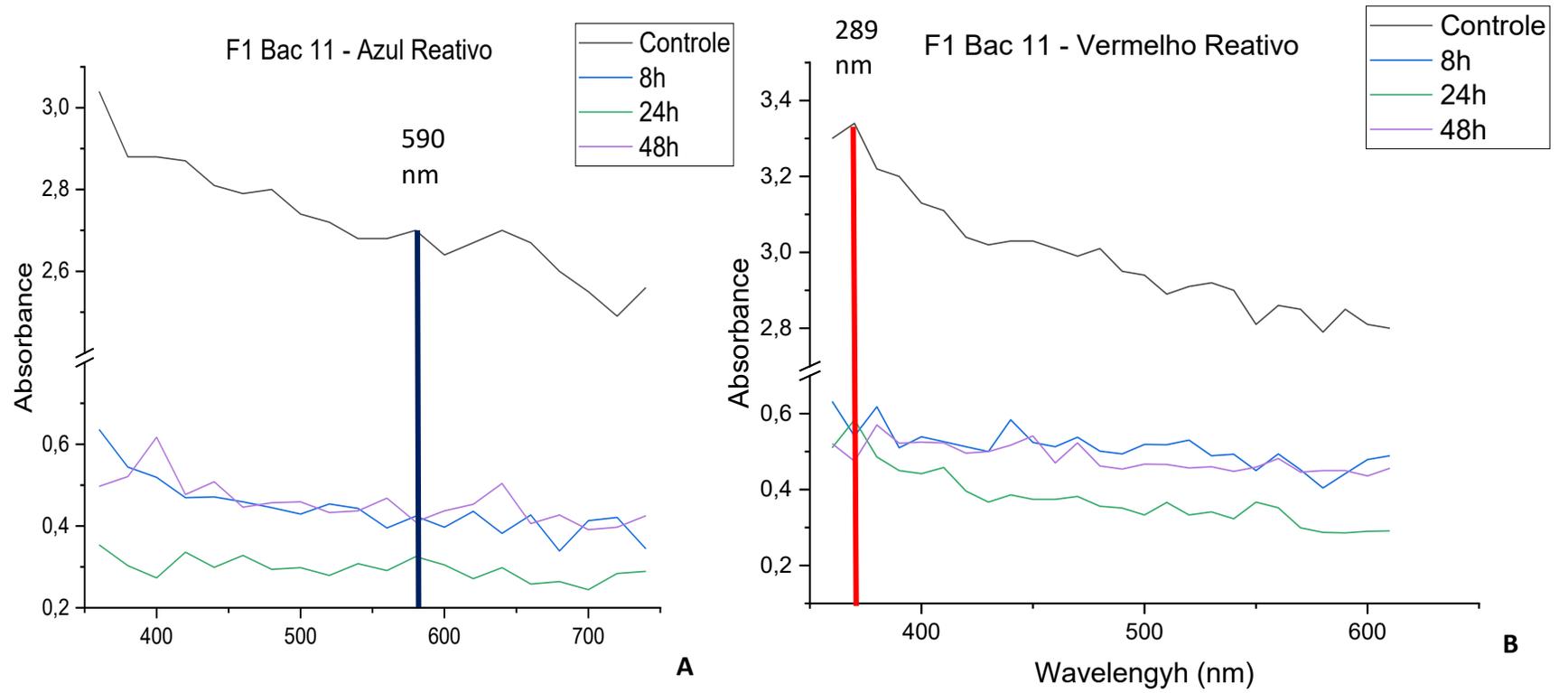
Figura 12: Reação morfotintorial dos isolados M4Bac3 e F1Bac11. Aumento de 100x.

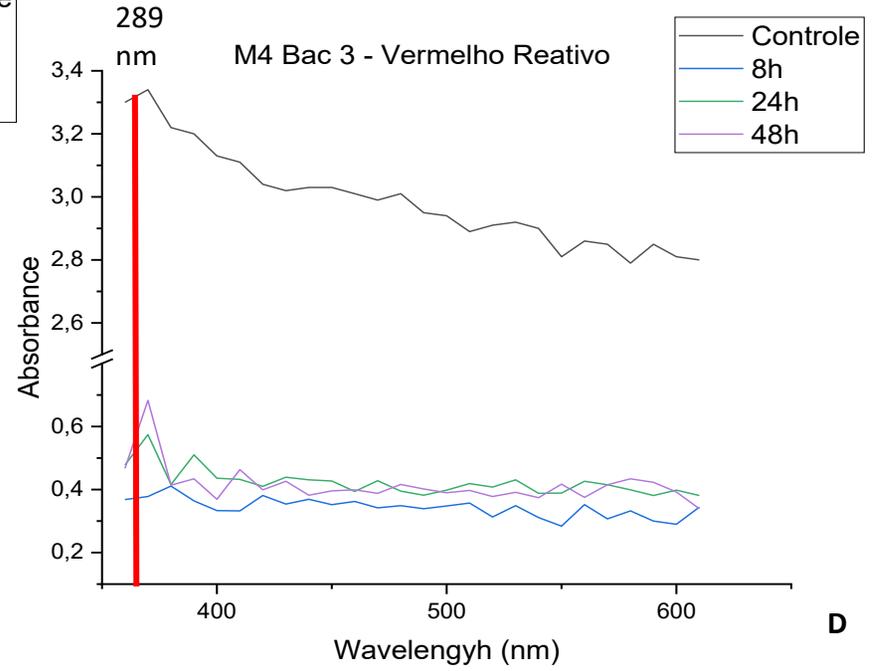
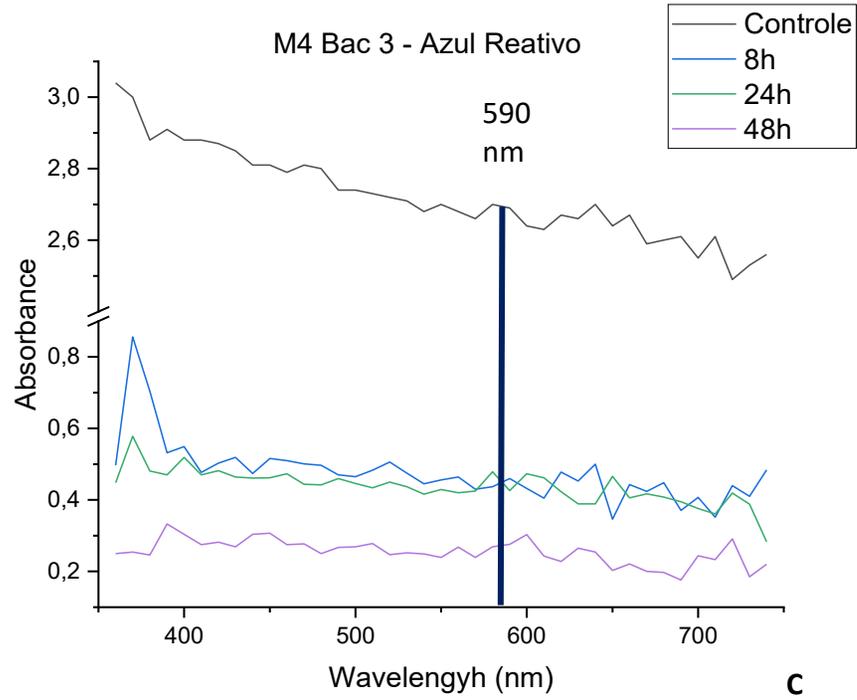


Fonte: Autoria Própria, 2022.

A biodegradação pelos isolados bacterianos foi determinada por espectro UV-VIS em meio de cultivo líquido acrescido de cada corante testado. A varredura espectral foi mensurada nos tempos 8, 24 e 48 horas de incubação. Como resultado foi verificado uma redução significativa da absorbância de cada corante já nas primeiras 8 horas de incubação (Figura 13 e Figura 14). Após 48 horas de incubação ainda houve diminuição da absorbância. Estes resultados indicam o potencial de biodegradação de corante por bactérias isoladas do ambiente.

Figura 13: Perfil espectral dos corantes em vermelho reativo (A e B) e azul reativo (C e D), após ação dos isolados M4Bac3 e F1Bac11.





Fonte: Aatoria Própria, 2022.

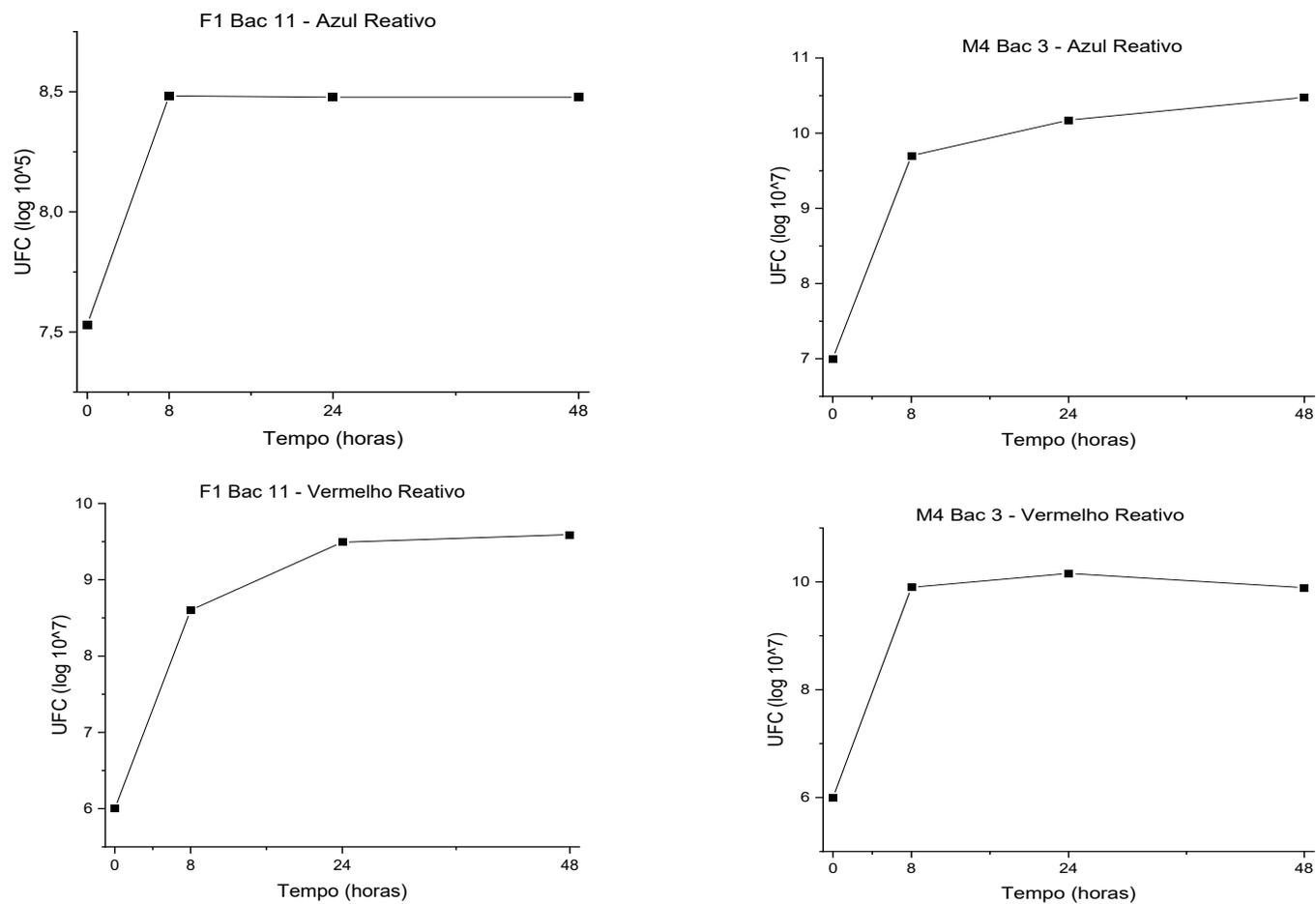
Figura 14: Macrovisualização da coloração do corante azul reativo e vermelho reativo (Ct-controle) e após 8 horas de degradação pelos isolados bacterianos.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

Verifica-se na Figura 15 a curva de crescimento bacteriano dos isolados M4Bac3 e F1Bac11 frente aos corantes testados. Nota-se que a fase logarítmica ocorreu nas primeiras 8 horas de incubação, entrando em fase estacionária após 24 horas de incubação se mantendo até as 48 horas de análise do estudo (Figura 15). Pode-se concluir com este teste, que os isolados bacterianos não sofreram a ação dos corantes, indicando ser promissores para uso de biodegradação. Ainda, o aumento no número de células corrobora com a diminuição do perfil espectral dos corantes observados em UV-VIS.

Figura 15: Curva de crescimento dos isolados M4Bac3 e F1Bac11 nos corantes azul e vermelho reativo.



Fonte: Autoria Própria, 2022.

A partir dos dados obtidos, foi aplicado a fórmula de rendimento, segundo metodologia descrita por Schmidt (2018). Os valores do percentual de degradação foram elevados já nas primeiras 8 horas de incubação, seguindo até 24 horas, para ambos isolados e corantes testados (Tabela 2). Destacamos que o isolado M4Bac3 apresentou 90% de biodegradação do corante vermelho reativo.

Tabela 2: Percentual de eficiência de degradação dos corantes azul reativo e vermelho reativo pelos isolados F1Bac11 e M4Bac3.

Isolado	Corante	Eficiência de descoloração	
		8 h	24 h
F1Bac11	Azul reativo	83%	88%
M4Bac3	Azul reativo	83%	88%
F1Bac11	vermelho reativo	81%	83%
M4Bac3	vermelho reativo	83%	90%

Fonte: Aatoria Própria, 2022.

A indústria têxtil tem uma contribuição significativa para o crescimento econômico de um país, e contribui fornecendo emprego e subsistência para força de trabalho. E muitos dos corantes utilizados no processamento são azóicos, reativos, sulfurados e oxidativos, altamente contaminantes do ambiente (STOLZ, 2001). O descarte inadequado em ecossistemas aquosos leva à redução da penetração da luz solar que, por sua vez, diminui a atividade fotossintética, resultando em efeitos tóxicos agudos na flora/fauna aquática e na concentração de oxigênio dissolvido (MUHD et al., 2014).

Os corantes encontrados na água também são prejudiciais à saúde humana mesmo na concentração de 1 mg/L (AYED et al., 2021). Os aspectos toxicológicos dos corantes podem causar efeitos nocivos agudos (por um curto período de tempo de exposições únicas ou múltiplas de substâncias em um corpo vivo) ou crônicos (efeitos nocivos a longo prazo de substâncias em uma criatura viva resultantes de exposições repetidas) e toxicidade ao organismo vivo. Os corantes podem ser mutagênicos, genotóxicos, teratogênicos e causar graves problemas de saúde ao corpo humano, como distúrbios no sistema renal, disfunção no sistema digestivo, danos no sistema cerebral e hepático (AYED et al., 2021).

Métodos físico-químicos aplicados no tratamento de efluentes podem gerar grandes quantidades de lodo, resultando um nível secundário de poluição (VARJANI et al., 2020). Por esta razão, há necessidade urgente de técnicas de remoção econômicas e ecológicas (*eco-friendly*) dos corantes poluentes. Como uma alternativa potencial, processos biológicos que incluem vários grupos taxonômicos de microrganismos, como bactérias, fungos, leveduras e algas, têm recebido crescente interesse devido à sua relação custo-benefício, sua produção de menos lodo e sua natureza ecologicamente correta (KALYANI et. al., 2009).

Bactérias de diferentes grupos podem atingir um maior grau de degradação de corantes e podem processar uma mineralização completa de corantes em condições ideais (ASAD et al., 2007). A degradação microbiana de efluentes têxteis tem sido relatada como mais econômica e ecologicamente correta do que os métodos físico-químicos (SHAH, 2013).

A abordagem da biorremediação é baseada no uso da capacidade de degradação dos microrganismos nativos. Como os corantes reativos xenobióticos são complexos e sua degradação não é fácil (MOHANA et al., 2008), podem ser degradados por via aeróbica e anaeróbica (SENAN; ABRAHAM, 2004).

Numerosos microrganismos, como fungos, leveduras e bactérias podem não apenas descolorir vários corantes reativos, mas também degradá-los completamente sob certas circunstâncias ecológicas. Dentre estes microrganismos, as bactérias tem se destacado pelo fácil crescimento e formação de biofilme em materiais inertes (RAI et al., 2005).

Culturas de bactérias de grande variabilidade têm sido trabalhadas em processos biológicos de tratamento de efluentes têxteis usando células de crescimento livre ou na forma de biofilmes em vários materiais de suporte (ROBINSON et al., 2001).

Embora não avaliado neste estudo, mas é de conhecimento que as bactérias produzem enzimas hidrolíticas de corantes têxteis. Como destaque podemos citar a bactéria *E. gallinarum* que foi capaz de descolorir o corante azo DB38 através da enzima azoredutase (FU et al., 2019). Similarmente, *Bacillus latrosporus* RRK1 produz azoredutase capaz de descolorir numerosos corantes azo sob circunstâncias aeróbicas (SANDHYA et al., 2008).

Neste estudo foi verificada elevada eficiência de degradação, variando de 81 a 90%, já nas primeiras 8 horas de incubação. Reddy e Osborne (2020) obtiveram eficiência de 37% com células planctônicas de *Pseudomonas guariconensis*, nas primeiras 10 horas de incubação, chegando a 50% após 100 horas. Portanto, os isolados avaliados apresentaram resultados muito promissores.

6. CONCLUSÃO

A indústria têxtil desempenha um papel vital na economia global, bem como em nossa vida cotidiana, e está se tornando simultaneamente uma das principais fontes de poluição ambiental do mundo em termos de qualidade e quantidade.

O presente estudo conclui que os isolados bacterianos F1Bac11 e M4Bac3 provenientes de madeira e folha em decomposição, foram capazes de degradar os corantes azul reativo e vermelho reativo. Os isolados não apresentaram degradação do corante amarelo.

Os resultados experimentais concluíram que os isolado na condição estática degradaram os corantes nas primeiras 8 horas de incubação, podendo ver este resultado tanto macro quanto pelo perfil espectral. Na curva de crescimento os isolados apresentaram a fase logarítmica nas primeiras 8 horas, e mantendo sua fase estacionaria até as 48 horas de estudo.

Os valores de eficiência de degradação obtiveram resultados acima da média, onde já nas primeiras 8 horas a eficiência foi de 80%, chegando a 90% nas 48 horas de análise. Sendo resultados promissores, estes dados apresentam um caminho otimista na perspectiva de uso dessas bactérias para biorremediação de corantes reativos.

7. REFERÊNCIAS

_____. **Carmim como substituto do Vermelho 40.** Imbarex, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.imbarex.com/pt-br/carmim-substituto-vermelho-40/>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

_____. **Coloração de Gram – O que é bactéria Gram-positiva e Gram-negativa?** Kasvi, 2019. Disponível em: <<https://kasvi.com.br/bacteria-gram-positiva-gram-negativa/>>. Acesso em: 30 de abril de 2021.

_____. **Wetlands para tratamento de esgotos: uma solução para efluentes sanitários.** Wetlands Contruidos. Belo Horizonte. 2019. Disponível em: <<https://www.wetlands.com.br/post/wetlands-para-tratamento-de-esgotos-uma-solucao-para-efluentes-sanitarios>>. Acesso: em 17 de abril de 2021.

ABADULLA, E.; TZANOV, T.; COSTA, S.; ROBRA, K.H.; CAVACO-PAULO, A.; GUBITZ, G.M. **Decolorization and detoxification of textile dyes with a laccase from *Trametes hirsuta*.** Applied and Environmental Microbiology, V. 66, p. 3357 – 3362, 2000^a.

ASAD S.; AMOOZEGAR M.; POURBABAEE AA.; SARBOLOUKI M.; DASTGHEIB S. **Decolorization of textile azo dyes by newly isolated halophilic and halotolerant bacteria.** *Bioresource Technology*. 2007; 98:2082–2088.

AYED, L.; LADHARI, N.; EI MZOUGH, R.; CHAIEB K. **Decolorization and phytotoxicity reduction of reactive blue 40 dye in real textile wastewater by active consortium: Anaerobic/aerobic algal-bacterial-probiotic bioreactor.** *J Microbiol Methods*. 2021.

AZEVEDO. J. L. **Botânica: uma ciência básica ou aplicada?** Revista Brasileira de Botânica, p 225-229, 1999.

AZEVEDO. J. L.; MACCHERONI. Jr. W; PEREIRA. J. O; ARAUJO. W. L. **Endophytic microorganisms: a review on insect control and recente advances on tropical plants.** *Eletronic Journal of Biotechnology*. 2000.

BARBOSA, A. S. et al. Remoção do corante reativo vermelho por adsorção utilizando argilas branca e vermelha. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 2, p.539-561, abr. 2019.

BELTRAME, L. T. C. **Sistemas microemulsionados aplicados à remoção da cor de efluente têxteis**. 2006. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BILANDZIC, N. et al. **Malachite green residues in farmed fish in Croatia**. *Food Control*, v. 26, p. 393–396, 2012.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. 18 ed., São Paulo: CETESB, 1993.

CÂMARA, A. M. **Corantes azo: características gerais, aplicações e toxicidade**. 2017. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) - Curso de Nutrição, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

CASAGRANDA, L. **Remoção de corante vermelho reativo 4B, utilizando como adsorvente palha de milho**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

CERIGIOLI, M. M. **Diversidade de bactérias endofíticas de raízes de milho (*Zea mays L.*) e potencial para promoção de crescimento**. (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005. 132 p.

CHAGAS, E.; DURRANT, L. R. (2001). **Decolorization of azo dyes by *Phanerochaete chrysosporium* and *Pleurotus sajorcaju***. *Enzyme and Microbial Technology*, 29(8-9), 473-477.

CHEN, K-U; JANE, Y-W.; LIOU, D-J; HWANG, S-C.J. **Decolorization of the textile dyes by newly isolated bacterial strains**. *Journal of Biotechnology*, V. 101, p. 57-68, 2003.

CHEN, L. et al. **Application of graphene-based solid-phase extraction for ultrafast determination of malachite green and its metabolite in fish tissues.** Food Chemistry, v. 141, n. 2, p. 1383–1389, 2013.

Colour Index. Definitions of a dye and pigment. Disponível em: <<https://colour-index.com/definitions-of-a-dye-and-a-pigment>> Acesso em: 20 de Mar. de 2022.

CUNHA, R. S.; SILVA, G. P.; LEITE, R. H. L. **Eletrooxidação Dos Corantes Reativos Azul Bf-5g E Vermelho Bf-4b Utilizando Eletrodos De Titânio Platinado.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, p. 1–7, 2014.

DEY, S.; ISLAM, A. **A review on textile wastewater characterization in Bangladesh.** Resources and Environment, v. 5, n.1, p. 15-44, 2015.

DIAS, A. E. X. O. **Biorremediação de áreas afetadas por resíduos sólidos tóxicos.** In: SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. (Org.) Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 142 p, 2000.

FILHO, G.M.R. **Adsorção do corante amarelo reativo BF-4G 200% por argila esmectita.** 2012. Tese Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

FU, L.; BAI, Y.N.; LU, Y.Z.; DING, J.; ZHOU, D.; ZENG, R.J. **Degradation of organic pollutants by anaerobic methane-oxidizing microorganisms using methyl orange as example.** J Hazard Mater 364:264–271, 2019.

GOEDERT, B. **Biossorção do corante têxtil reativo azul 5G comparando resíduos industriais casca de soja e serragem.** 2017. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2017.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes Têxteis.** Química Nova, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

HALIS, Tarafından. İNDİGO HAKKINDA GENEL BİLGİ. **Tekstilbilgi**, 2022. Disponível em: < <https://tekstilbilgi.net/indigo-hakkinda-genel-bilgi.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

HASHIMOTO, J. C. et al. **Considerations on the Use of Malachite Green in Aquaculture and Analytical Aspects of Determining the Residues in Fish: A Review**. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, v. 20, n. 3, p. 273-294, 2011.

HASSEMER, M.E.; SENS, M.L. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 7, 30-36, 2002.

HONORATO, A. C. **Biossorção do corante azul reativo 5G em efluentes têxteis utilizando resíduos agroindustriais**. 2015. Dissertação Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2015.

KALYANI D.; TELKE A.; DHANVE R.; JADHAV J. **Ecofriendly biodegradation and detoxification of Reactive Red 2 textile dye by newly isolated Pseudomonas sp. SUK1**. *Journal of Hazardous Materials*. 2009; 163:735–742.

KANT, R. **Textile dyeing industry an environmental hazard**. *Natural Science*, v. 04, n. 1, p. 22-26, 2012.

KUKLINSKY-SOBRAL, J.; ARAÚJO, W.L.; MENDES, R.; GERALDI, I.O.; PIZZIRANI-KLEINER, A.A. & AZEVEDO, J.L. **Isolation and characterization of soybean-associated bacteria and their potential for plant growth promotion**. *Environ. Microbiol.*, 6:1244-1251, 2004.

KUNZ, A; ZAMORA, P.P; MORAES, S.G; DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. *Quim. Nova*, Vol. 25, No. 1, 78-82, 2002.

LADCHUMANANANDASIVAM, R. **Processos Químicos Têxteis**. Volume III – Tingimento Têxtil (revisado 2ª Edição). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. 2008.

LEE, B.; LIAW, W.; LOU, J. (1999). **Photocatalytic decolorization of methylene blue in aqueous TiO₂ suspension**. *Environmental Engineer Science*. Vol. 16, nº 3: 165-175.

LUMACTUD, R.; SHEN, S.Y.; LAU, M.; FULTHORPE, R.; **Endófitos bacterianos isolados de plantas em solos de infiltração de óleo natural com contaminação crônica por hidrocarbonetos.** *Front Microbiol.* 2016; 7: 755.

MENDES, R.; PIZZIRANI-KLEINER, A.A.; ARAUJO, W.L. & RAAIJMAKERS, J.M. **Diversity of cultivated endophytic bacteria from sugarcane: Genetic and biochemical characterization of Burkholderia cepacia complex isolates.** *Appl. Environ. Microbiol.*, 73:7259-7267, 2007.

MIRZAJANI, R.; AHMADI, S. **Melamine supported magnetic iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄@Mel) for spectrophotometric determination of malachite green in water samples and fish tissues.** *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 23, p. 171–178, 2015.

MOHANA, S.; SHRIVASTAVA, S.; DIVECHA, J.; MADAMWAR, D. **Response surface methodology for optimization of medium for decolorization of textile dye Direct Black 22 by a novel bacterial consortium.** *Bioresour Technol* 99:562–569, 2008.

MUHD, N. J.; BAGHERI S.; HAMID S. B. A. **Recent advances in heterogeneous photocatalytic decolorization of synthetic dyes.** *The Scientific World Journal.* 2014; 2014:1–25.

NIGAM, P.; BANAT, I.M.; SINGH, D.; MARCHANT, R. **Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo, and reactive dyes.** *Process Biochemistry*, V. 31, p. 435-442, 1996.

PHUGARE, S.S. *et al.* Textile dye degradation by bacterial consortium and subsequent toxicological analysis of dye and dye metabolites using cytotoxicity, genotoxicity and oxidative stress studies. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, n. 1, p. 713-723, 2011.

QUEIROZ, M. T. A., QUEIROZ, C. A., ALVIM, L. B., SABARÁ, M. G., LEÃO, M. M. D., & AMORIM, C. C. (2019). **Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos.** *Gestão & Produção*, 26(1), e1149.

RADWAN T. EI-S. EI-D. et al. **Efeito da inoculação de *Azospirillum* e *Herbaspirillum* na produção de compostos indólicos em plântulas de milho e arroz.** Pesquisa Agropecuária Brasileira. V 39, p 1. 2004.

RAI, H.S.; BHATTACHARYY M.S.; SINGH, J.; BANSAL, T.K.; VATS, P.; BANERJEE, U.C. **Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: a review of emerging techniques with reference to biological treatment.** Crit Rev Environ Sci Technol 35:219–238, 2005.

REDDY, S.; OSBORNE, J. W. **Biodegradation and biosorption of Reactive Red 120 dye by immobilized *Pseudomonas guariconensis*: Kinetic and toxicity study.** Water Environment Research. 92: 1230–1241, 2020.

ROBINSON, T. et al. **Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative.** Bioresource Technologie, v. 77, p. 247- 255, 2001.

ROMERO, S., BLANQUEZ, P., CAMINAL, G., FONT, X., SARRA, M., GABARRELL, X., VICENT, T., **Different approaches to improving the textile dye degradation capacity of *Trametes versicolour*, Bioche. Eng. J. 31, 2006, 42-47.**

SANDHYA, S.; SARAYU, K.; SWAMINATHAN, K. **Determination of kinetic constants of hybrid textile wastewater treatment system.** Bioresour Technol 99:5793–5797, 2008.

SANTOS. D. F. **Tratamento de efluente têxtil utilizando a técnica de adsorção em casca de café.** 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Processos Químicos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2013.

SANTOS, G. C. **Análise comparativa da capacidade de remoção do corante direct blue 71 em solução pelos fungos *Phanerochaete chrysosporium* e *Aspergillus oryzae*.** Dissertação. Instituto de Biociências. Rio Claro – SP. 2011.

SARATALE, R. G.; SARATALE, G. D. CHANG, J. S. GOVINDWAR, S. P. Bacterial decolorization and degradation of azo dyes: A review. **Journal of the Taiwan Institute of Chemcal Engineers**, v.42, p.138–157, 2011.

SCHMIDT, C. **Isolamento e caracterização de bactérias eficientes na biodegradação de corantes azo sintéticos**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Curso de Biotecnologia, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 23 fev. 2018.

SCHIMMEL, Daiana. **ADSORÇÃO DOS CORANTES REATIVOS AZUL 5G E AZUL TURQUESA QG EM CARVÃO ATIVADO COMERCIAL**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SENAN, R.C.; ABRAHAM, T.E. **Bioremediation of Textile Azo Dyes by Aerobic Bacterial Consortium** *Aerobic Degradation of Selected Azo Dyes by Bacterial Consortium*. Biodegradation 15, 275–280, 2004.

SHAH MP. **Microbial degradation of textile dye (Remazol Black B) by Bacillus spp.** **ETL-2012**. *Journal of Applied & Environmental Microbiology*. 2013; 1:6–11.

SILVA. E. P. **Caracterização de Bactérias Endofíticas e Isolamento do Fitopatógeno Exserohilum turcicum de Milho Crioulo (Zea mays var. Rosado)**. 2013. (Relatório de Estágio) Curso Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

SILVA. M. G. et al. **Isolamento e prospecção de bactérias endofíticas e epifíticas na cana-de-açúcar em áreas com e sem cupinicida**. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*. V 36, p 1113-1121, 2012.

SOMASIRI, W.; RUAN, W.; XIUFEN, L.; JIAN, C. (2008). **Colour and cod removal, reactor performance, and stability in textile wastewater treatment by upflow anaerobic sludge blanket reactor at mesophilic temperature**. *Electron Environ Agric Food Chem* 7:3461–3475

SOUZA, K. V. DE. **Desenvolvimento de espécies de ferro imobilizadas em matrizes poliméricas e sua utilização na remediação de resíduos industriais**. 2009. 192f. Tese (Doutorado em Química Orgânica) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade federal do Paraná, Curitiba, 2009.

STOLZ, A. **Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes.** Appl Microbiol Biotechnol 56, 69–80, 2001.

TEXPAL INDÚSTRIA QUÍMICA. **Ficha de informação de segurança de produtos químicos – FISPQ** Revisão A. 2008.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado.** 1999. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Departamento de Água e Solo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VARJANI, S.; RAKHOLIYA, P.; NG, H.Y.; YOU, S.; TEIXEIRA, J.A. **Microbial degradation of dyes: An overview** Bioresour. Technol., 314, 2020.

WESLEY, A. **Aguas residuales industriales.** Teorías, Aplicaciones y Tratamiento. Madrid: Aldus, AS, 1997. Cap 22.

WIKIPEDIA CONTRIBUTORS. "Dactylopius." Wikipedia, The Free Encyclopedia. **Wikipedia, The Free Encyclopedia**, 6 Mar. 2021. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Dactylopius>>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

XIE, J. et al. **Determination of malachite green , crystal violet and their leucometabolites in fish by HPLC – VIS detection after immunoaffinity column cleanup.** Journal of Chromatography B, v. 913-914, p. 123–128, 2013.