

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CCA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA, MATEMÁTICA E
EDUCAÇÃO

SABRINA MONTEIRO TOLEDO

**BIOSSORÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DO CORANTE TÊXTIL
GUARANY 16- AZUL MARINHO EM MEIO AQUOSO POR
*Saccharomyces cerevisiae***

ARARAS

2023

SABRINA MONTEIRO TOLEDO

**BIOSSORÇÃO E BIODEGRADAÇÃO DO CORANTE TÊXTIL
GUARANY 16- AZUL MARINHO EM MEIO AQUOSO POR
*Saccharomyces cerevisiae***

Trabalho de conclusão de curso apresentado à disciplina Monografia 2 do Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas para obtenção do título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientação: Prof. Dr. Renato Nallin Montagnolli

ARARAS SP

2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias – CCA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa do Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Sabrina Monteiro Toledo, realizada em 05/09/2023:

Prof. Dr. Renato Nallin Montagnolli

Universidade Federal de São Carlos – campus Araras

Prof. Dra. Renata Sebastiani

Universidade Federal de São Carlos – campus Araras

Me. José Machado da Silva Neto

Universidade Federal de São Carlos – campus Araras

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Solange e Carlos, que abdicaram de seu tempo e tornaram os meus sonhos, suas prioridades. Sempre serão minha fortaleza.

Agradeço ao professor Renato Nallin Montagnolli pela sua orientação e ensinamentos que foram fundamentais para minha formação.

Agradeço a Universidade Federal de São Carlos e todos seus colaboradores, sobretudo os professores de Ciências Biológicas, que contribuíram na minha jornada de aprendizado.

Agradeço ao Grupo de Estudos em Bioprospecção, Biodegradação e Biorremediação e ao Laboratório de Microbiologia Agrícola e Molecular (LAMAM), em especial meus colegas Gabriel, Daniela, Ana e Valéria por todo suporte ao longo desta etapa.

Agradeço aos meus amigos Lucas, Gabriel, Inara, Rafaela e Luis que durante os cinco anos de graduação, me apoiaram e validaram o sinônimo de amizade.

Agradeço a minha companheira Izadora Misurini, por estar ao meu lado, incentivando e contribuindo em todas minhas conquistas.

Agradeço à República Viracopos, que proporcionou momentos incríveis ao lado de mulheres que são verdadeiras potências. Obrigada por todo amor e dedicação para construirmos o que hoje chamamos de lar.

Agradeço.

“Difficulties are just things to overcome, after all.”

— Ernest Shackleton

RESUMO

As indústrias têxteis são responsáveis por quantidades excedentes de resíduos de corantes descartados em corpos hídricos, afetando o ecossistema. A composição química destes corantes torna-os compostos altamente tóxicos e prejudiciais não só ao meio ambiente, mas à saúde pública, fazendo-se necessário medidas de biorremediação. O tratamento biológico quando comparado aos demais, demonstra grande potencial em virtude de economia, tempo, eficácia e redução de resíduos secundários. Dentre as técnicas utilizadas para o tratamento, destacam-se a bioadsorção e a biodegradação. Esse trabalho propôs utilizar a levedura *Saccharomyces cerevisiae* como principal agente de bioremediação do corante Guarany 16- Azul Marinho por processos de adsorção e biodegradação. O processo de adsorção foi avaliado por espectroscopia UV-VIS, a partir de ensaios em triplicatas nas concentrações de 5, 10 e 15% do corante, em soluções de pH 2,5 e 4,5 contendo 100µl da levedura viva e morta. Os ensaios de biodegradação ocorreram a partir da avaliação de parâmetros de crescimento em meio YPD mínimo e corante em placas de Petri, na solução de corante com concentração de 5%, determinada de acordo com a maior taxa de adsorção do ensaio anterior, com pH de 2,5. Após a leitura por espectrofotometria, analisou-se os valores e foram feitos os cálculos de média, mediana e desvio padrão a fim de padronizar os índices e obter a constante de variação para desenvolvimento dos gráficos. Os resultados indicam que as melhores condições para adsorção em solução foram em pH 2,5, utilizando biomassa viva, sob agitação e temperatura de 28°C. A maior eficácia de remoção foi na concentração de 5% de corante. Estimou-se a capacidade máxima de adsorção em relação à concentração de corante inicial em até 70,20%. Ademais, a levedura foi capaz de biodegradar e crescer no meio durante o período de exposição ao corante, demonstrando seu potencial biorremediador no tratamento de efluentes têxteis.

Palavras-chave: Efluente têxtil; Biorremediação; Espectrofotometria; Levedura; UV-VIS.

ABSTRACT

Textile industries are responsible for excess amounts of dye waste discarded in water bodies, affecting the ecosystem. The chemical composition of these dyes makes them highly toxic compounds and harmful not only to the environment, but to public health, making bioremediation measures necessary. Biological treatment, when compared to others, demonstrates great potential due to savings, time, effectiveness and reduction of secondary waste. Among the techniques used for treatment, biosorption and biodegradation stand out. This work proposed using the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as the main bioremediation agent for the dye Guarany 16- Marine Blue through adsorption and biodegradation processes. The adsorption process was evaluated by UV-VIS spectroscopy, based on triplicate tests at concentrations of 5, 10 and 15% of the dye, in solutions of pH 2.5 and 4.5 containing 100 μ l of live and dead yeast. The biodegradation tests occurred based on the evaluation of growth parameters in minimal YPD medium and dye in Petri dishes, in the dye solution with a concentration of 5%, determined according to the highest adsorption rate of the previous test, with a pH of 2.5. After reading by spectrophotometry, the values were analyzed and mean, median and standard deviation calculations were made in order to standardize the indices and obtain the constant of variation for developing the graphs. The results indicate that the best conditions for adsorption in solution were at pH 2.5, using live biomass, under agitation and at a temperature of 28°C. The highest removal efficiency was at a concentration of 5% dye. The maximum adsorption capacity in relation to the initial dye concentration was estimated at up to 70.20%. Furthermore, the yeast was able to biodegrade and grow in the medium during the period of exposure to the dye, demonstrating its bioremediation potential in the treatment of textile effluents.

Keywords: Textile effluent; Bioremediation; Spectrophotometry; Yeast; UV-VIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura celular da levedura <i>S. cerevisiae</i>	22
Figura 2. Fermento biológico seco instantâneo Fleishmann	23
Figura 3. Corante têxtil Guarany 16- Azul Marinho	24
Figura 4. Esquema do ensaio de biodegradação a partir dos parâmetros de crescimento da levedura	27
Figura 5. Espectros de FTIR na região de 4000 a 400 cm ⁻¹ referentes ao corante Guarany 16- Azul Marinho e a Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	28
Figura 6. Medidas de absorvância UV-VIS das soluções de pH 2,5 e 4,5 com tratamento de biomassas vivas e mortas em diferentes concentrações.	30
Figura 7. Superfície de resposta dos ensaios com variáveis: Descoloração; Tempo; pH	32
Figura 8. Superfície de resposta dos ensaios com variáveis: Descoloração; Concentração; pH	32
Figura 9. Velocidade de crescimento radial dos ensaios de biodegradação; E1, E2, E3 (ensaio com corante) e C1,C2,C3 (controles sem corante)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações gerais dos ensaios que avaliaram a biossorção em diferentes concentrações e pH	26
Tabela 2. Taxa de crescimento (mm) da levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> em exposição ao corante com concentração 5% e pH 2,5.	33
Tabela 3. Análises de absorção do corante na concentração de 5%	40
Tabela 4. Análises de absorção do corante na concentração de 10%	40
Tabela 5. Análises de absorção do corante na concentração de 15%	41

LISTA DE ABREVIACÕES

ABIT	Associao Brasileira da Indústria Têxtil e Confeo
BTEX	Benzeno, Tolueno, Etilbenzeno e Xilenos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO/BOD	Demanda Bioquímica de Oxignio
DQO	Demanda Química de Oxignio
FT-IR	Infravermelho por Transformada de Fourier
UV-VIS	Ultravioleta visível
VCR	Velocidade de Crescimento Radial
YPD	Extrato de Levedura Peptona Dextrose

LISTA DE SÍMBOLOS

-C=O	Ligação dupla de Carbono
-N=N-	Ligação dupla de Nitrogênio
-COOH	Carboxila
-OH	Hidroxila
-NO₂	Nitro
-NH₃	Amina
-SO₃H	Sulfonato

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1. Indústria Têxtil	17
2.2. Corante Têxtil	18
2.3. Tratamento de Efluentes	19
2.4. Biossorção	20
2.5. Biodegradação	21
2.6. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	21
3. OBJETIVOS	23
3.1. Objetivo geral	23
3.2. Objetivos específicos	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	23
4.1. <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	23
4.2. Corante Guarany 16- Azul Marinho	24
4.3. Meio de cultura	25
4.4. Suspensão da levedura seca 2%	25
4.5. Inóculo	25
4.6. Caracterização das amostras de corante e levedura	25
4.7. Biossorção	25
4.8. Cálculo do potencial adsortivo	27
4.9. Biodegradação	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. Identificação dos grupos funcionais através dos espectros das amostras de corante e levedura	28
5.2. Análise da absorvância das soluções por Espectrofotometria UV-VIS	32
5.3. Potencial adsortivo das leveduras sobre soluções com corante	36

5.4. Análise de Biodegradação	42
6. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

A expansão da atividade industrial foi um marco revolucionário e de suma importância para o desenvolvimento da sociedade, principalmente para o setor têxtil. Contudo, esse setor industrial demonstra um potencial elevado para a contaminação ambiental, considerando a intensa produção de resíduos caracterizados pelos baixos níveis de degradação (ISLAM *et al.*, 2023; ALMEIDA *et al.*, 2016). Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e Confecção (ABIT, 2020), o Brasil ocupa a posição de 5º maior indústria têxtil do mundo, adicionando mais de US\$48 bilhões para a economia nacional e produzindo cerca de 574 milhões de toneladas de produtos têxteis (SINDTÊXTIL, 2018). Todavia, os impactos causados na integridade do meio ambiente decorrente das ações antrópicas se intensificaram nos últimos séculos, fazendo-se necessárias ações sanitárias para remediação dos danos.

O esgoto da indústria têxtil é estipulado como o mais poluente entre os setores industriais, em relação ao seu volume e composição (PAJOOTAN *et al.*, 2012). A etapa de tingimento consiste em alterar a coloração via processos físico-químicos pela aplicação de corantes sintéticos em uma solução, com a adição de surfactantes e aditivos. Tais efluentes possuem alto potencial de poluição, pois suas características incluem a capacidade de alterar a qualidade da água por meio consumo de oxigênio, concedendo coloração, alterando os processos fotossintéticos, elevando a concentração de sais no ambiente e contaminando o meio com compostos recalcitrantes tóxicos afetando todo o ecossistema (RITTER, 2016).

Ademais, muitos destes corantes podem ser tóxicos, mutagênicos e cancerígenos (BAÊTA *et al.*, 2015), visto que, em sua composição molecular possuem compostos como naftaleno, antraceno e BTEX (GONG *et al.*, 2011). Para a saúde humana, alguns efeitos nocivos acometem fortes dores de cabeça, náuseas, diarreia, arritmia cardíaca e necrose do tecido. No entanto, o maior impacto está no ecossistema cujos efeitos são: contaminação do solo, poluição em corpos naturais e atenuação da qualidade da água atingindo a fauna aquática, dada difícil penetração do espectro de luz nas baixas camadas, alterando a atividade fotossintética por conta do aumento na turbidez da água e, conseqüentemente, na solubilidade dos gases e demanda química de oxigênio (DQO) (ANASTÁCIO *et al.*, 2016).

A legislação do Brasil institui limites a alguns padrões de descarte de efluentes (pH, temperatura, concentrações, demanda de oxigênio bioquímico (DBO), contaminantes orgânicos e inorgânicos, entre outros), além das condições de emissão e parâmetros conforme as características do corpo hídrico (BRASIL, 2005, 2011). De acordo com o Conselho

Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), na Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011, o resíduo não deve não modificar as propriedades da conjuntura do corpo hídrico receptor e deve atender aos requisitos de qualidade do efluente.

Entretanto, a lei não estabelece limitações para a liberação de efluentes pigmentados, como corantes têxteis, afirmando apenas que os resíduos não devem modificar as características naturais do corpo hídrico. Grande parte das empresas cumprem apenas o exigido pela legislação, condicionados às leis ambientais buscam manter a qualidade da água e o equilíbrio dos compartimentos ambientais, mas liberando quantidades significativas de poluentes não tratados no meio ambiente, incluindo corantes, responsáveis por causar a degradação ambiental (DIAS, 2020).

Dessa forma, torna-se imprescindível novas tecnologias e métodos que não ofereçam risco ambiental para o tratamento destes poluentes. Os processos biológicos, quando comparados aos demais, demonstram grande potencial em virtude do seu baixo custo, eficiência de degradação e descoloração parcial ou completa desses efluentes, em pouco tempo e menor quantia de resíduos secundários (TAN *et al.*, 2016). Inúmeros microorganismos podem ser utilizados nesse processo para o tratamento de efluentes têxteis, entretanto, os fungos têm provado maior aptidão para remoção destes corantes (KAUSHIK; MALIK, 2009), por intermédio de dois principais processos: biossorção e biodegradação.

O emprego da *Saccharomyces cerevisiae* como organismo intermediário de reações de biodegradação tem se tornado mais recorrente nos últimos anos. Em um estudo dirigido por Kiayi *et al* (2019), constatou através dos dados de espectrofotometria a eliminação de carmoisina após 7 horas de incubação da levedura na solução sob condições de agitação anaeróbia, assim como o surgimento de aminas aromáticas em amostras coletadas do meio após descoloração por *S. cerevisiae*.

Matchivanan *et al.* (2019), para a mesma levedura, obtiveram a descoloração máxima de 96,88% do corante vermelho do Congo após o período de 17 horas. Os resultados podem alcançar ainda mais êxito com outros corantes, como admite Mahmoud (2016) que utilizou o tratamento biológico com cepa da levedura para descoloração de corantes reativos, reduzindo a coloração e o valor de demanda química de oxigênio (DQO) de efluentes têxteis em 100% e 61,82%, respectivamente.

Nessa perspectiva, o presente trabalho busca analisar o potencial biossorbitivo e biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção do corante têxtil, por meio

de análises espectrométricas de adsorção molecular no Ultravioleta Visível (UV-Vis) e avaliação dos parâmetros de crescimento em placa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria Têxtil

A tecnologia e informação é compreendida desde o início da Quarta Revolução Industrial como alicerce do desenvolvimento, bem como o estímulo superficial de vários meios, incluindo financeiros e políticos para alavancar o setor têxtil, sobretudo, o maquinário. Estes incentivos e tecnologias procederam da necessidade permanente de aprimorar a produção têxtil, desde as matérias-primas até o produto final, dispensando a mão de obra onerosa dos funcionários e visando a produção em larga escala, em um período de tempo reduzido (MAGALHÃES; VENDRAMINI, 2018).

Configurando-se como uma necessidade social, os produtos têxteis como roupas, uniformes e similares, fazem parte da cultura de todos os países, com o objetivo de produzir e subsidiar as necessidades da sociedade em seus diversos aspectos (FUJITA e JORENTE, 2015). Nota-se também, que a indústria têxtil influenciou-se desde o início pelas tendências da moda e modos de vestir, considerando que a indústria da moda influencia a sociedade, que por sua vez gera demanda para o setor têxtil, abastecendo a indústria da moda com matéria-prima, conferindo a relação mutualística de ambas, à medida que a indústria da moda gera necessidade dos produtos têxteis (CARVALHO, 2010).

No Brasil, a industrialização têxtil iniciou-se ainda no período colonial, com a chegada de imigrantes de diversas regiões e tendências, que ressaltam a trajetória do nosso país durante a colonização e ainda refletido na atual sociedade (KON; COAN, 2005). As primeiras fábricas têxteis surgiram no século XIX (PEREIRA, 1994), caracterizando-se de forma geral, como de pequeno porte e seus estabelecimentos eram transitórios. A consolidação destas indústrias ocorreu na década de 80, facilitada pelo pequeno investimento de capital, o lucro rápido, tecnologias disponíveis e o consumo assegurado (FILLETI; BOLDRIN, 2020).

No ano de 1785, 159 fábricas têxteis foram paralisadas pelo alvará da Rainha Maria I que proibia o remanejamento de mão-de-obra da agricultura para o setor têxtil, já que a riqueza da colônia era derivada de recursos do solo e não de produtos industriais (FREITAS, 2019). Após a interrupção no seu desenvolvimento, as indústrias foram definitivamente implementadas na segunda metade do século XIX, alternando períodos de rápido desenvolvimento com os de baixa atividade, sendo reconhecido somente na década de 40

como um setor dinâmico do país em desenvolvimento, ocupando o segundo lugar no mercado têxtil mundial de produção têxtil durante a 2ª Guerra Mundial (FILLETI; BOLDRIN, 2020).

A chegada do setor foi e continua sendo de notória importância nos âmbitos econômicos, sociais, culturais e políticos. Atualmente, esse setor ocupa o quarto lugar entre as indústrias que mais produzem vestuários e a quinta maior em indústrias têxteis. Conforme a ABIT, o setor têxtil faturou US\$176,8 bilhões em 2018, um aumento de 7,3% em relação ao ano anterior. É o segundo maior empregador no setor industrial de transformação (matéria-prima em material ou produto acabado), empregando aproximadamente 1,5 milhão de pessoas diretamente e quase 8 milhões de pessoas indiretamente em mais de 25 milhões de empresas em todo o país (ABIT, 2018).

Embora seja incontestável a relevância deste setor na movimentação da economia e na geração de empregos e renda, há uma preocupação com o tratamento dos efluentes gerados pela indústria têxtil (MARCELINO *et al.* 2013). Processos como a liberação de corantes têxteis em corpos hídricos podem ocasionar danos irreparáveis aos ecossistemas e para a saúde humana (PEIXOTO, *et al.*, 2013).

2.2 Corante têxtil

Os corantes têm sido utilizados por milênios, sendo um produto de grande disponibilidade e variedade comercial. Anteriormente, os corantes eram obtidos de fontes orgânicas, como insetos, plantas, fungos e fungos liquenizados. O primeiro corante sintético, a anilina "púrpura", foi criado em 1856, o que acarretou a contínua procura por outros corantes (WHELHAM, 2000).

Os corantes sintéticos caracterizam-se como moléculas orgânicas compostas pelo grupo funcional, que se liga às fibras do tecido, e pelo grupo cromóforo, que atribui coloração aos produtos. Em geral, classificam-se conforme sua estrutura química ou método de aplicação. Possuem como características a solubilidade, elevada capacidade de absorção de luz e não abrasivo (ABRAHANT, 1977). Sua classificação pode ser distinta conforme as características químicas, físicas ou sociais como: estrutura química, técnica de aplicação, solubilidade, cor, síntese, solidez, origem, nome ou ano de invenção e outros (CLARK, 2011; GÜRSES *et al.*, 2016).

Em consonância com a estrutura química, os grupos comumente encontrados são: antraquinônicos, azos, nitro, sulfatados e índigo. Os principais grupos de aplicação são: ácidos, atendidos, básicos, diretos, dispersos e reativos (GÜRSES *et al.*, 2016). Confere-se em

sua conformação, duas principais estruturas: os cromóforos, responsáveis por atribuir as cores e os auxocromos, que intensificam a coloração. Ressaltam-se entre o grupo cromóforo, os corantes azo (-N=N-), carbonila (-C=O), nitro (-NO₂), índigos e quinóide; enquanto os auxocromos mais significativos são as aminas (-NH₃), carboxil (-COOH), sulfonato (-SO₃H), e hidroxila (-OH) (DOS SANTOS, 2004).

Os corantes sintéticos são considerados os compostos mais complexos dos rejeitos têxteis em virtude de sua elevada solubilidade e volume produzido, e baixa degradabilidade (QUEIROZ *et al.* 2019), tornando-se muito tóxico quando lançado diretamente nos corpos hídricos, e conseqüentemente, danificando significativamente o meio ambiente.

Devido às suas propriedades cancerígenas e mutagênicas, bem como componentes tóxicos em suas moléculas, como antraceno, benzeno, etilbenzeno, tolueno, naftaleno, e xileno, esses contaminantes precisam ser removidos antes que afetem o meio ambiente (BAËTA *et al.*, 2015). Tais compostos têm potencial para se acumular em plantas aquáticas e outros organismos, podendo permanecer por 50 anos no ecossistema (BARROS, 2019), além de promover a extinção da vida aquática e o declínio de sua biodiversidade (BAËTA *et al.*, 2015; SARATALE *et al.*, 2011).

A adoção de medidas que amenizem os efeitos causados por esses efluentes é fundamental diante da necessidade de prevenir a degradação ambiental proporcionada pelos efluentes têxteis e atender à legislação nacional que rege o descarte correto de efluentes.

2.3 Tratamento de Efluentes

Entre as adversidades encontradas durante o tratamento de efluentes têxteis, a principal está relacionada à composição do corante, que além de extremamente complexo devido à presença de substâncias diversas, pode variar conforme o produto processado, tecnologia utilizada, o tipo de indústria e outros fatores. Como característica física do produto, os corantes foram desenvolvidos para resistir a degradação causada pela lavagem, luz, microrganismos e outros aspectos (DIAS, 2020).

É imprescindível que durante o processamento, os materiais soltos sejam removidos, os resíduos orgânicos, coloração e substâncias com potencial contaminante (ácidos, álcalis, elementos-traço, etc.) sejam reduzidos e, sobretudo, a remoção dos subprodutos consecutivos da degradação considerando que estes são caracterizados como tóxicos à biota e à saúde humana (VICTRAL, 2015).

O tratamento destes resíduos é realizado por meio de processos e operações biológicos, químicos, físicos ou uma combinação dos três processos, cada um com suas respectivas vantagens e limitações. Quando comparado aos demais, o tratamento biológico destaca-se pelo menor custo em relação aos demais, alta eficiência e ausência de substâncias químicas no processo de descontaminação (DIAS, 2020).

A utilização de microrganismos como agentes biodegradáveis visa eliminar compostos nocivos do meio ambiente, em virtude da capacidade de adsorver e degradar através de processos metabólicos os compostos resistentes, sem a geração de subprodutos que podem ocasionar danos ambientais adicionais (TAN *et al.* 2016).

2.4 Biossorção

A biossorção representa inúmeros mecanismos independentes (adsorção química e/ou física, complexação, interações eletrostáticas, microprecipitação e outros), onde poluentes específicos interagem com sorventes de origem biológica (DOTTO, 2012). Dessa forma, caracteriza-se como um tratamento físico-químico que consiste na remoção de certas moléculas (adsorbato) de um meio aquoso por intermédio de uma biomassa viva ou morta (adsorvente) em contato com a matéria contaminante por determinado tempo, sem necessidade de grande superfície de contato, por interações variadas, podendo ocasionar quimissorção (ligações iônicas ou covalentes), ou fisissorção (forças de van der Waals, ligações por pontes de hidrogênio ou dissulfeto). As interações químicas são mais fortes, quando comparadas às físicas, conseqüentemente, apresentam maior taxa de extração em um período relativamente menor de contato, sendo assim, a escolha pelo adsorvente é de suma importância para o êxito do processo (SARMA *et al.*, 2008).

Este processo apresenta grandes benefícios, como por exemplo, a utilização de materiais de adsorção de baixo custo e biodegradáveis, como as leveduras, que apresentam maior eficiência devido às ações enzimáticas que atuam sobre os efluentes. Esses materiais têm se mostrado muito eficazes na remoção de produtos químicos, como corantes têxteis (BARROS, 2019). Em geral, a levedura é muito utilizada por sua econômica aplicação, em um curto período de tempo, flexibilidade do material adsorvente e remoção total da molécula poluente sem gerar subprodutos tóxicos pós tratamento (DILARRI *et al.*, 2016).

2.5 Biodegradação

O termo biodegradação foi utilizado pela primeira vez em 1961, retratando a decomposição de matérias constituídas de hidrogênio, carbono e oxigênio (FUHS, 1961). Atualmente, é definido como um conjunto de processos bioquímicos nos quais microrganismos convertem poluentes orgânicos em subprodutos inertes ou menos tóxicos (SCHNEIDER, 2001), comumente usado em projetos relacionados à ecologia, gerenciamento de resíduos e biorremediação.

A biodegradação trata-se de um processo de desintegração da matéria por meio de fungos ou bactérias, que secretam enzimas capazes de degradar materiais naturais ou processados (BENNETT, 1998). Pode ocorrer de forma aeróbica (com presença de oxigênio) ou anaeróbica (sem oxigênio), e sofrer influência de alguns fatores quanto ao tempo demandado para degradação, tais como: tipo de material, água, luz, pH, temperatura. O processo é capaz de transformar efluentes em elementos naturais e utilizar essas substâncias para aquisição de energia como respiração celular, fonte de nutrientes e produção de aminoácidos, além de viabilizar a formação de húmus, matéria orgânica de múltipla importância para o meio ambiente, fornecendo nutrientes às plantas e ao solo, regulando a microbiota (BALAN, 1998).

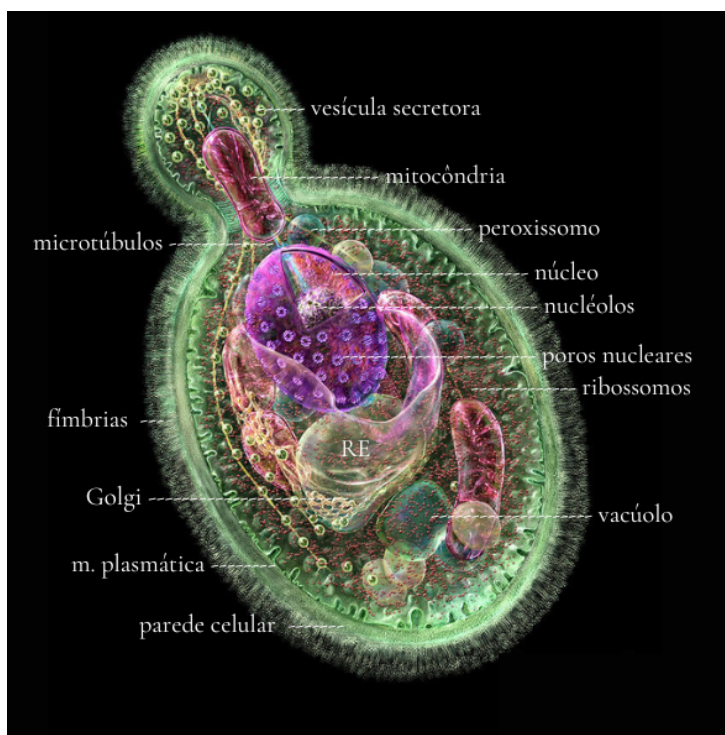
No que diz respeito à biodegradação de corantes por ação enzimática das leveduras, o microrganismo suscita uma intensa secreção de metabólitos extracelulares, principalmente enzimas, impelindo a conversão de moléculas maiores em moléculas menores, que podem então ser transportadas através da membrana plasmática para o meio intracelular (CARVALHO *et al.* 2009).

2.6 *Saccharomyces cerevisiae*

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* é um microrganismo eucarioto, unicelular, pertencente ao grupo dos fungos. Reproduz-se assexuadamente por brotamento ou gemulação, possuem fenótipo elíptico, com comprimento de 55 µm e largura de 6 a 8 mm, cuja temperatura ideal para crescimento está entre 20 e 30°C em pH ácido (COELHO, 2013). Possui a capacidade de modificar as condições de seu ambiente, regulando a expressão genética para a forma apropriada ao regime nutricional disponível, ou seja, utilizam diferentes fontes de carbono conforme a presença de determinados genes capazes de codificar as enzimas necessárias (STAMBUK, 1999).

A levedura é de grande relevância para a área da pesquisa devido sua capacidade de desenvolvimento, ajustes metabólicos, disponibilidade e cultivo em diversas condições e ambientes, rápida multiplicação, sintetização de nutrientes, não patogenicidade e baixo custo (HA *et al.*, 2002), tornando-o um biocatalisador com inúmeras vantagens para as indústrias de fermentação alimentícias e de bebidas (KAPOOR; VIRARAGHAVAN, 1995). Ademais, essa levedura é utilizada como ferramenta de biorremediação em tratamentos biológicos e autopreservação do ambiente, degradando os poluentes através de suas enzimas. Tem grande potencial de biossorção de diversos materiais, entre eles: chumbo, cobre, cromo, níquel e corantes têxteis (VASUDEVAN *et al.*, 2003; ÖZER e ÖZER, 2003).

FIGURA 1. Estrutura celular da levedura *S. cerevisiae*



Fonte: Adaptado de Russell Kightley, 2012.

Considerando-se a relevância do tratamento biológico, pesquisas sobre os microrganismos atuantes nestes processos são imprescindíveis, uma vez que as ações dos efluentes têxteis implicam não só no meio ambiente, mas na saúde pública.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Utilizar a levedura *Saccharomyces cerevisiae* no processo de biossorção e biodegradação do corante têxtil Guarany 16- Azul Marinho.

3.2. Objetivos específicos

- Cultivar a levedura *Saccharomyces cerevisiae* em meio aquoso com exposição ao corante para a adaptação microbiana;
- Determinar o potencial de biossorção e efetividade do tratamento biológico com leveduras vivas e mortas visando a adsorção do corante têxtil;
- Verificar as condições ideais para otimizar o processo de biorremediação;
- Averiguar a biodegradação do corante têxtil através dos parâmetros de crescimento da levedura em placa de Petri.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. *Saccharomyces cerevisiae*

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* foi obtida a partir do fermento biológico seco instantâneo comercializado, em pó, 10g, da marca Fleischmann.

FIGURA 2. Fermento biológico seco instantâneo Fleischmann



Fonte: Fleischmann Ind. LTDA, 2023.

4.2. Corante têxtil Guarany 16- Azul Marinho

O corante têxtil utilizado foi o Guarany 16- Azul Marinho (Guarany Indústria e Comércio Ltda), 40g, forma em pó, cuja composição que contribui para risco inclui corantes diretos com faixa de concentração entre 70 a 100% (Figura 3).

O preparo da solução de corante ocorreu a partir de 4 g do corante Guarany para 100 mL de água fervente conforme as instruções de aplicação do produto. Acerca de sua caracterização, preparou-se a diluição seriada do corante em pó em água destilada, a fim de verificar a concentração máxima de corante e a reta padrão no Espectrofotômetro ThermoBiomate® UV-VIS. Identificou-se o pico em 2.972, cuja diluição era de 1^{10} com comprimento de onda de 575 nm.

FIGURA 3. Corante têxtil Guarany 16- Azul Marinho



Fonte: Guarany Ind. LTDA, 2023.

4.3. Meio de cultura

O meio de cultura mínimo utilizado para o ensaio de biodegradação foi o YPD (*Yeast Peptona Dextrose*), preparado a partir de 1g (grama) de extrato de levedura, 2 g de peptona, 2 g de dextrose, 5 g de ágar e 100 mL (mililitro) de água, esterilizado a 120°C em autoclave por 15 minutos.

4.4. Suspensão da levedura seca 2%

A suspensão da levedura foi preparada a partir da diluição de 2g do fermento biológico seco da marca Fleischmann, em 14 mL de água esterilizada em um tubo Falcon. Posteriormente a solução foi levada à centrífuga refrigerada Eppendorf® por um período de tempo de 20 minutos a 3000 rpm para purificação da levedura. O sobrenadante foi descartado

e transferiu-se a biomassa precipitada para um balão volumétrico de 100 mL e avolumou-se o mesmo com água esterilizada.

4.5. Inóculo

A contagem do inóculo ocorreu a partir da solução de suspensão, onde retirou-se 100 μL da levedura para 100 μL do corante eritrosina para contagem de células em Câmara de Neubauer. Posteriormente, contabilizou-se as células dos quatro quadrantes laterais e central e por meio da média aritmética simples, descobriu-se o valor de 56 células por quadrante, totalizando x célula/mL. O cálculo de células por mL, foi expresso pela Equação 1:

$$C \times Q \times 10^4 \times D = \text{Total de células/mL} \quad \text{Equação 1}$$

Onde C é o número de células por quadrante; Q é o número de quadrantes; 10^4 é o volume dos quadrantes (0,1 μL) e; D é a diluição aplicada. Resultando em:

$$56 \times 25 \times 10^4 \times 0,1 = 1,4 \times 10^5 \text{ células/mL}$$

4.6. Caracterização das amostras de corante e levedura por FTIR

Os espectros de absorção na região do infravermelho foram obtidos por Espectroscopia por Transformada de Fourier (FTIR) (SZAFRAN *et al*, 1991), equipamento Tensor II da marca Bruker, e software OPUS 7.5. As amostras foram embutidas em pastilhas de Brometo de Potássio (KBr) com 1% de amostra, utilizando 1 mg do corante em pó Guarany 16- Azul Marinho e 1 mg do fermento biológico seco Fleischmann para 200 mg de KBr, com intervalo de varredura entre 4000 a 400 cm^{-1} , resolução de 4 cm^{-1} . As bandas foram analisadas em termos de absorbância no programa Origin Pro 2018.

4.7. Bioissorção

O processo de bioissorção do corante Guarany 16- Azul Marinho foi avaliado em função do tempo de contato de 12 ensaios em triplicatas. Para isso, preparou-se as diferentes soluções com 100 μL da solução de 2% da levedura viva e morta de *S. cerevisiae*, ajustando para os pH 2,5 e 4,5 com ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,1 M e hidróxido de potássio (KOH) 0,1 M.

As soluções controles do corante foram preparadas nas concentrações de 5, 10 e 15%, em ambos pH contendo apenas o corante diluído, totalizando 12 tipos de ensaios (Tabela 1).

As amostras ficaram reservadas numa temperatura ambiente de 28°C na incubadora de agitação Tecnal TE- 4200, 120 rpm, durante 72 horas. As amostras foram submetidas à análise espectral UV-VIS do pellet ressuspensionado, nos intervalos de 24, 48 e 72h.

TABELA 1. Informações gerais dos ensaios que avaliaram a bioadsorção em diferentes concentrações e pH

Ensaio	Meio	Concentração de corante (%)	pH	Biomassa	Repetições
E1	Corante e levedura	5%	2,5	Viva	3
E2	Corante e levedura	5%	2,5	Morta	3
E3	Corante e levedura	5%	4,5	Viva	3
E4	Corante e levedura	5%	4,5	Morta	3
E5	Corante e levedura	10%	2,5	Viva	3
E6	Corante e levedura	10%	2,5	Morta	3
E7	Corante e levedura	10%	4,5	Viva	3
E8	Corante e levedura	10%	4,5	Morta	3
E9	Corante e levedura	15%	2,5	Viva	3
E10	Corante e levedura	15%	2,5	Morta	3
E11	Corante e levedura	15%	4,5	Viva	3
E12	Corante e levedura	15%	4,5	Morta	3
Controle 1	Corante	5%	2,5	-	2
Controle 1	Corante	5%	4,5	-	2
Controle 3	Corante	10%	2,5	-	2
Controle 4	Corante	10%	4,5	-	2
Controle 5	Corante	15%	2,5	-	2
Controle 6	Corante	15%	4,5	-	2

Fonte: Autora, 2023.

A avaliação de eficiência dos ensaios foi verificada estatisticamente por meio do cálculo do coeficiente de variação (C.V.), se os desvios entre as triplicatas dos respectivos ensaios eram significativos. Para isso, realizou-se leituras de cada triplicata e calculou-se as medidas de centralidade média e mediana. A média dos conjuntos (triplicatas) de cada ensaio foi encontrada, somando-se todos os valores do conjunto e dividindo o resultado por três. A mediana consistiu-se no valor do meio quando o conjunto de valores foi ordenado em ordem crescente.

Posteriormente, calculou-se com auxílio da ferramenta Excel o desvio padrão e, diante disto, estabeleceu-se o coeficiente de variação, buscando manter-se abaixo de 15% de dispersão, para obter-se dados homogêneos e a construção dos gráficos.

4.8. Cálculo do potencial adsortivo

O potencial adsortivo foi calculado de acordo com a metodologia de Won *et al.* (2004) e El-Rahin *et al.* (2009), diante dos valores obtidos pré e pós reação com a levedura, por meio da Equação 2:

$$\% \text{ descoloração} = \frac{\text{AI} - \text{AF}}{\text{AF}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

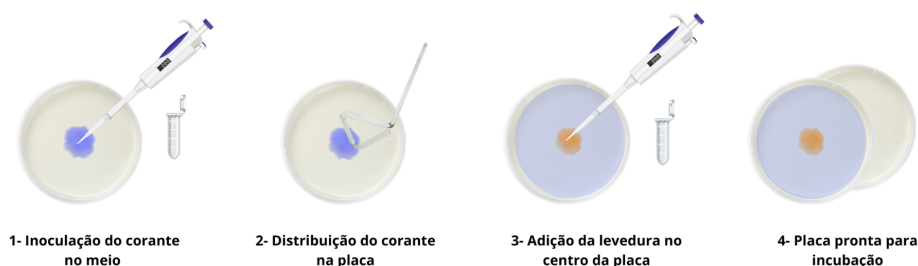
Onde AI é a absorbância obtida pela solução inicial; AF a absorbância das amostras de corante e levedura do ensaio de bioissorção final.

4.9. Biodegradação

A biodegradação ocorreu a partir da avaliação da Velocidade de Crescimento Radial (VCR) em meio mínimo de YPD em placas de Petri (GADANHOTO, 2022). O ensaio foi preparado em triplicata, onde adicionou-se 100µL da solução de corante na concentração de 5%, determinada de acordo com a maior taxa de adsorção do ensaio anterior, com pH de 2,5 (Figura 4), espalhados uniformemente por toda a placa, com auxílio da alça de inoculação. Posteriormente, inoculou-se 100µL da levedura *Saccharomyces cerevisiae* no centro da placa.

Os cultivos mantiveram-se em estufa BOD a 30°C e foram analisados durante os períodos de 24, 48 e 72h. A cada intervalo de tempo, mediu-se com auxílio de um paquímetro o crescimento radial da levedura a fim de verificar o raio crescimento, cujo raio inicial foi considerado 0,5 mm, que corresponde ao raio da ponteira de inoculação.

FIGURA 4. Esquema do ensaio de biodegradação a partir dos parâmetros de crescimento da levedura



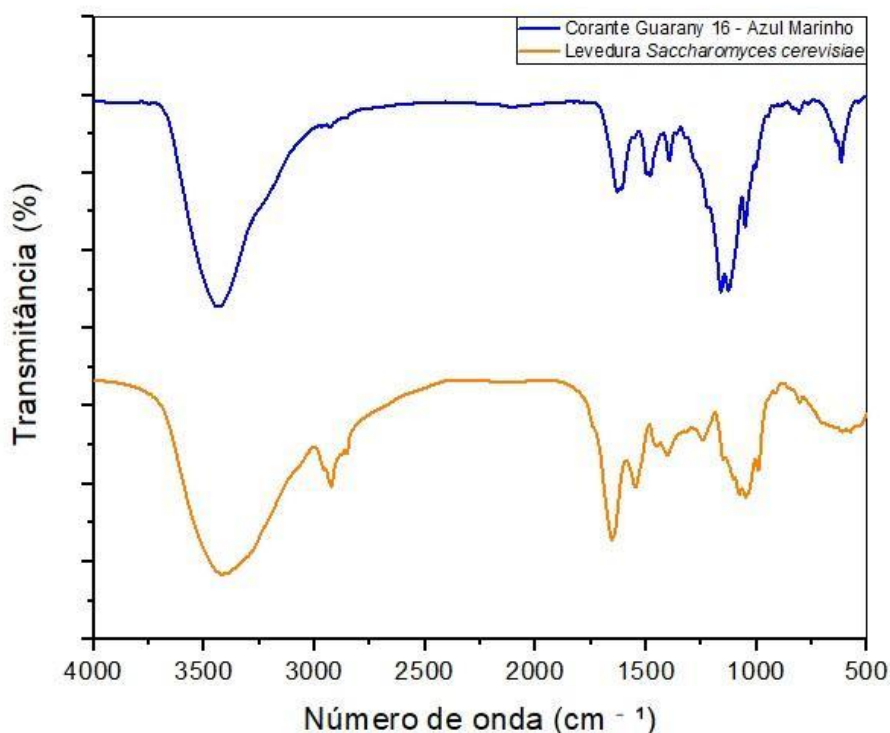
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores observados após as análises de absorvância dos ensaios, averiguou-se o índice de adsorção das respectivas amostras nos intervalos de 24, 48 e 72 horas após o contato com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Ademais, através dos resultados obtidos pelos parâmetros de crescimento na placa de Petri, foi possível verificar o potencial de biodegradação das moléculas de corante.

5.1. Identificação dos grupos funcionais através dos espectros de adsorção das amostras de corante e levedura

Os espectros adquiridos através do Infravermelho com Transformada de Fourier contribuíram com informações sobre a parede celular da levedura *Saccharomyces cerevisiae* e das moléculas do corante, possibilitando a identificação das bandas características de cada estrutura (Figura 5).

FIGURA 5. Espectros de FTIR na região de 4000 a 400 cm^{-1} referentes ao corante Guarany 16- Azul Marinho e a Levedura *Saccharomyces cerevisiae*



Fonte: Autora, 2023.

Na região do espectro de Infravermelho do corante, observa-se uma banda larga e mais intensa na região de 3000 a 3600 cm^{-1} , correspondentes às vibrações de estiramento do

grupo C-H, e bandas entre 1300 a 1000 cm^{-1} que podem ser identificadas como estiramentos do grupo C-H. Ademais, observa-se bandas de menor intensidade na região de 1800 a 1600 cm^{-1} , cujos picos apresentam-se em 1547 cm^{-1} referente ao grupo NH₂, a banda 1402 cm^{-1} ao grupo C-X e duas bandas nas regiões de 1240 a 1060 cm^{-1} que podem ser classificadas como o grupo C-O. As bandas analisadas pelo infravermelho possibilitaram vincular as principais bandas de adsorção com as ligações dos grupos funcionais constituintes da molécula, cujas informações não são disponibilizadas pelo fabricante e desconhecidas na literatura.

A biomassa de *Saccharomyces cerevisiae* foi caracterizada por um pico na região de 3415 cm^{-1} , apresentando uma banda larga que corresponde à presença N-H de proteínas (grupos amino) e a vibrações de hidroxilas de carboidratos, detectadas geralmente na região de 3500-3200 cm^{-1} conforme BELÉM (2018). As bandas expressas nas regiões entre 1650-1300 cm^{-1} são correspondentes aos grupos C=O e podem indicar a existência de bandas amida I e II, provenientes de ligações de proteínas peptídicas (estiramento C=O e deformação (N-H) (ZHANG *et al.*, 2015).

As bandas situadas na região do infravermelho de 1485 e 1392 cm^{-1} correspondem aos grupos N-H e NO₃ respectivamente, apresentando vibrações de proteínas e ácidos graxos, seguidas pela banda 1143 cm^{-1} do grupo C-O. Os dois últimos picos observados em 811 cm^{-1} e 614 cm^{-1} podem ser conferidos em alditóis (C-OH) de acordo com Zhang *et al* (2015). Estes grupos funcionais que compõem a parede celular, como o grupo amino presente na banda 3415 cm^{-1} , são possíveis estruturas que interagem com os grupamentos pertencentes ao corante. Portanto, os dados analisados colaboram com estudos futuros para relacionar possíveis interações da estrutura do corante com os grupos funcionais da parede da levedura.

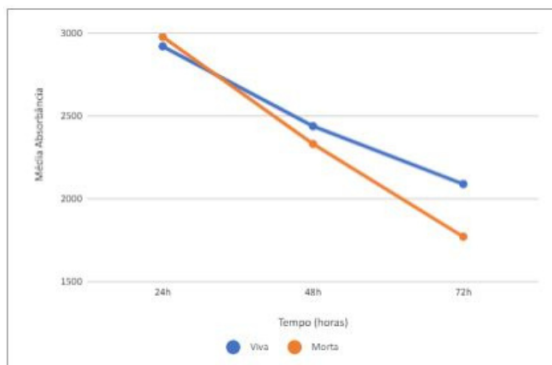
5.2 Análise da absorvância das soluções por Espectrofotometria UV-VIS

Os resultados adquiridos pela Espectroscopia UV-VIS nos ensaios de absorvância das soluções de concentração 5, 10 e 15% do corante após o tratamento com a levedura *Saccharomyces cerevisiae* são apresentados respectivamente na figura 6. Por meio dos resultados obtidos, foi possível analisar as diferenças entre as variáveis concentração, pH e biomassa que conferem o melhor resultado do processo de biorremediação.

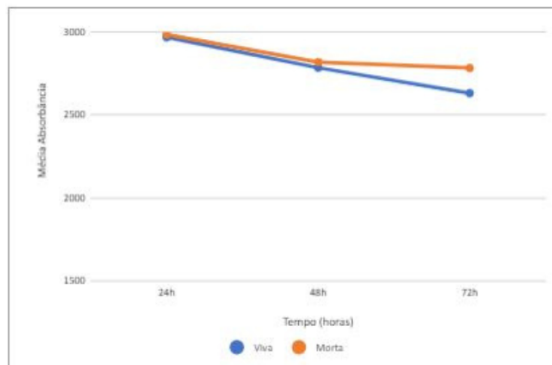
FIGURA 6. Medidas de absorvância UV-VIS das soluções de pH 2,5 e 4,5 com tratamento de biomassas vivas e mortas em diferentes concentrações.

Concentração de 5% do corante

a) pH 2,5

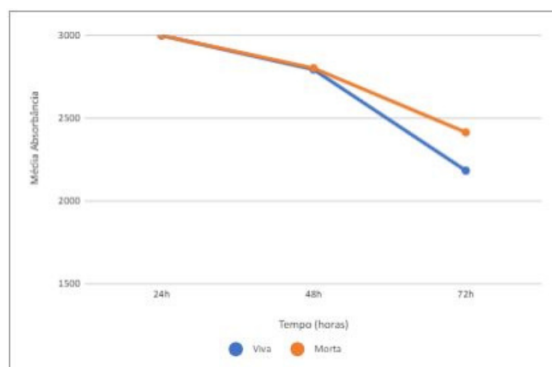


b) pH 4,5

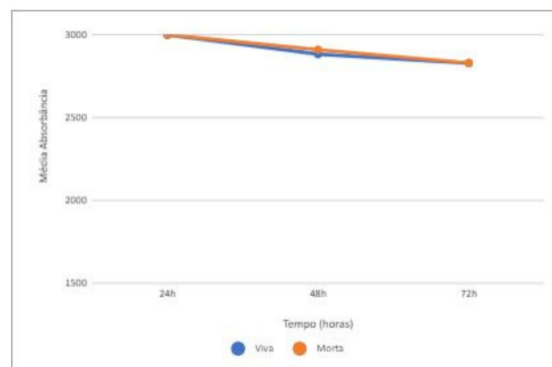


Concentração de 10% do corante

c) pH 2,5

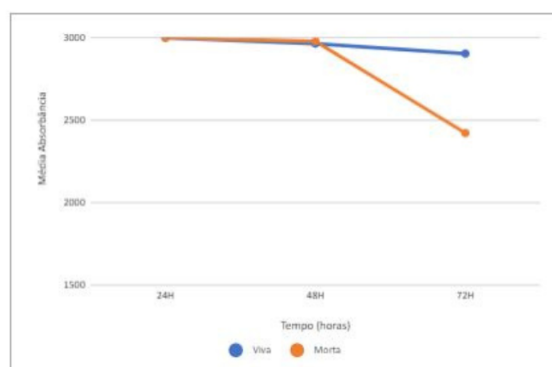


d) pH 4,5

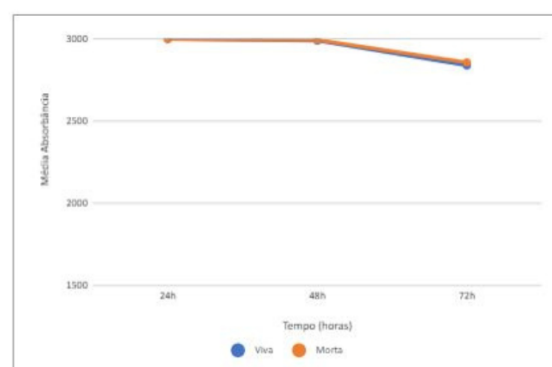


Concentração de 15% do corante

e) pH 2,5



f) pH 4,5



Fonte: Autora, 2023.

Apesar das diferentes concentrações, pH e biomassa, a levedura *Saccharomyces cerevisiae* foi capaz de adsorver o corante em todas as concentrações, isto porque, os compostos como elementos-traço presentes nestes efluentes ligam-se à superfície dos microrganismos e acumulam no meio intracelular ou precipitam, mesmo quando a célula está metabolicamente inativa (RODRIGUES, 2023).

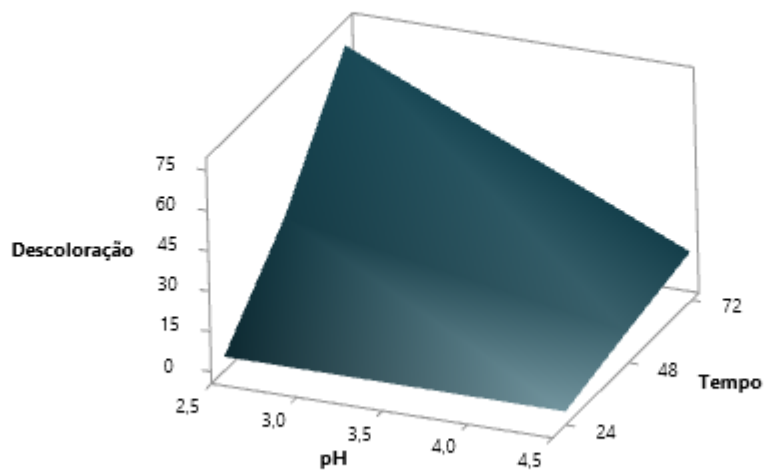
Nota-se que nas concentrações de 5 e 15% no pH de 2,5, a biomassa morta obteve maior eficácia no processo de adsorção ao decorrer das horas. As demais concentrações, contudo, apresentam o melhor desempenho quando a levedura apresenta-se ativa, nos pHs de 2,5 e 4,5 conforme o período de incubação. Isto pode ser explicado, considerando que quando ativas, a levedura possui como vantagem o mecanismo de bioacumulação intracelular, ausente na biomassa morta, adaptando-se a variação de pH, como corrobora os ensaios de Ferreira *et al* (2007). Enquanto os ensaios de 5 e 15% que destoam dos demais resultados, podem ser explicados pela capacidade de adsorção da levedura mesmo com o metabolismo inativo, mas em ambientes com pH mais ácidos.

Ademais, verifica-se que as soluções em diferentes valores de pH apresentaram redução após o tratamento com *S. cerevisiae*, porém, para a maioria dos ensaios, a resposta ao tratamento foi mais eficiente no valor de pH mais ácido, apresentando a maior remoção do efluente, como certificado por Rodrigues (2010) e Ercolini (2018). Observa-se que os ensaios de pH 2,5 possuem melhor desempenho no processo de adsorção, com exceção dos ensaios de concentração 5% de biomassa viva e 15% de biomassa morta. Uma possível explicação para estas exceções ocorrerem, é a composição das cadeias laterais da parede celular do microrganismo que contêm ligações fosfodiéster, podendo tornar a membrana celular eventualmente negativa segundo Silva (2019) e impedindo a interação entre a levedura e o corante.

5.3. Potencial adsortivo das leveduras sobre soluções com corante

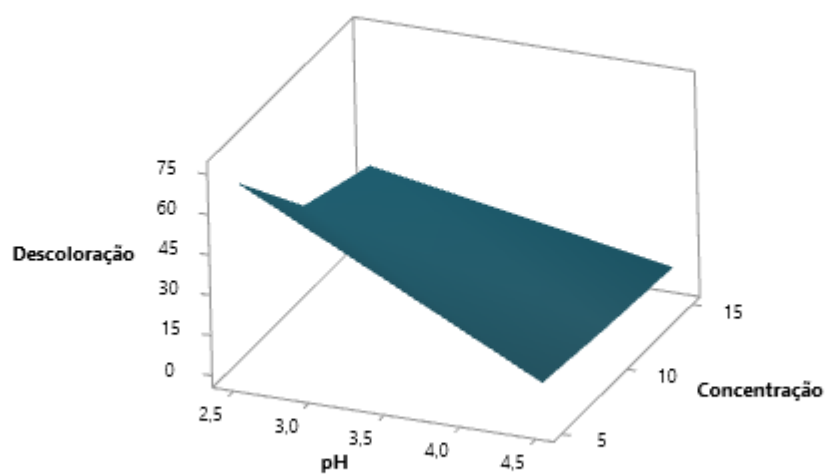
De acordo com a metodologia de Won *et al.* (2004) e El-Rahin *et al.* (2009) calculou-se o potencial adsortivo das soluções, como explicado na seção 4.8. O cálculo do potencial foi realizado a partir da média das triplicatas, com os valores iniciais e finais de cada ensaio, e posteriormente, construiu-se os gráficos (Figura 7 e 8).

FIGURA 7. Superfície de resposta dos ensaios com variáveis: Descoloração; Tempo; pH



Fonte: Autora, 2023.

FIGURA 8. Superfície de resposta dos ensaios com variáveis: Descoloração; Concentração; pH



Fonte: Autora, 2023.

Identifica-se que todas as soluções contendo o corante Guarany 16- Azul Marinho apresentaram atenuação da concentração após o tratamento de adsorção com a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, entretanto, a reação do tratamento mostrou-se mais eficiente em concentrações menores do corante (5%) e em pH mais ácido de 2,5. Isso foi verificado também nos estudos de Agnol (2014) e Santos *et al* (2017). Os valores de descoloração (%) crescem à medida em que o tempo de exposição à levedura aumenta, sendo diretamente proporcionais.

O potencial adsorptivo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* conferiu a descoloração máxima de até 70,26% do corante. O resultado assemelha-se aos valores averiguados por Morão (2014), cuja descoloração em condições semelhantes atingiu 60,45% e Melo (2021) no tratamento de corante utilizando a levedura, com média de 83,5% de descoloração.

5.4. Análise de Biodegradação

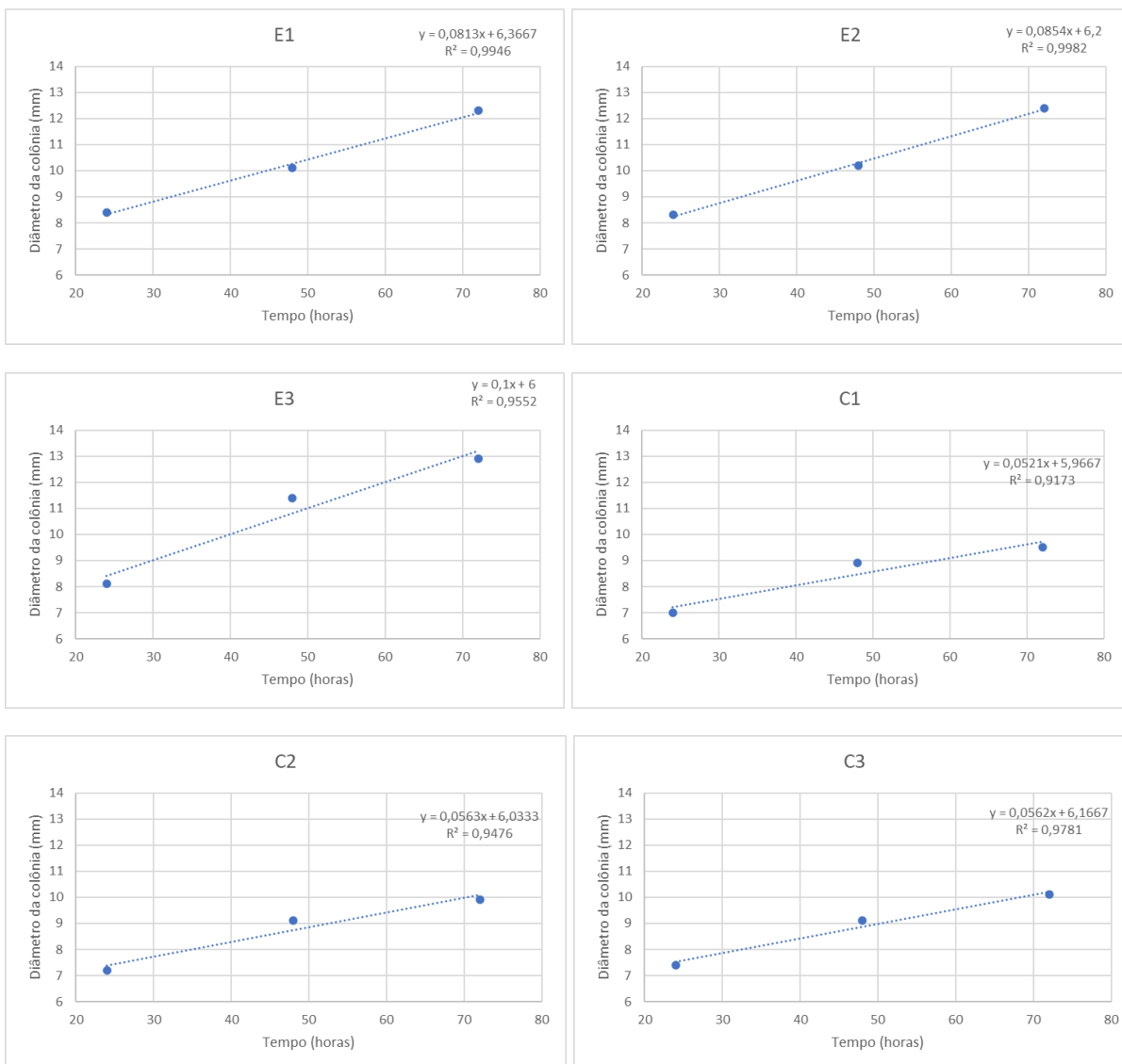
Os valores apresentados na Figura 9 e Tabela 2 demonstram o crescimento efetivo nas primeiras 24h de incubação tanto no controle, quanto nos ensaios contendo o corante. Contudo, foram obtidos entre os ensaios com corante e os controles resultados diferentes do crescimento radial ao longo do intervalo de tempo, expressando uma possível capacidade de biodegradação das moléculas de corante pela levedura.

TABELA 2. Taxa de crescimento (mm) da levedura *Saccharomyces cerevisiae* em exposição ao corante com concentração 5% e pH 2,5 após o processo de adsorção.

Ensaio	24h	48h	72h	VCR (cm.d ⁻¹)	R ²
E1	8,4	10,1	12,3	0,0813	0,9946
E2	8,3	10,2	12,4	0,0854	0,9982
E3	8,1	11,4	12,9	0,1	0,9552
C1	7	8,9	9,5	0,0521	0,9173
C2	7,2	9,1	9,9	0,0563	0,9476
C3	7,4	9,1	10,1	0,0562	0,9781

Fonte: Autora, 2023.

FIGURA 9. Velocidade de crescimento radial dos ensaios de biodegradação; E1, E2, E3 (ensaios com corante) e C1,C2,C3 (controles sem corante)



Fonte: Autora, 2023.

Os resultados ponderados confirmam o processo de biodegradação do corante, haja vista que a velocidade de crescimento do microrganismo é maior nas soluções com a presença de corante. Esta diferença pode ser explicada devido ao processo de ruptura do efluente em diferentes subprodutos através da ação enzimática da levedura, utilizando as moléculas de corante presentes no meio com pouca disponibilidade de nutrientes como fontes de carbono ou nitrogênio para obtenção de energia (CURSINO *et al*, 2016).

6. CONCLUSÃO

Acerca da preocupação com a quantidade dos efluentes gerados pela indústria têxtil, e que são lançados nos cursos d' água, causando efeitos adversos ao meio ambiente e à saúde humana, este trabalho apresenta estudos que visam contribuir com o tratamento biológico do corante Guarany 16- Azul Marinho utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* mostrou-se eficaz nos processos de adsorção e biodegradação em meio aquoso de corante Guarany 16- Azul Marinho. As condições ideais para descoloração caracterizaram-se em solução com pH 2,5 e utilização de biomassa viva, sob agitação e temperatura de 28°C, com a maior eficácia na concentração de 5% de corante. Estimou-se a capacidade máxima de adsorção em relação à concentração de corante inicial em até 70,26%.

A partir das análises da velocidade de crescimento radial (VCR), conclui-se que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* apresenta capacidade de biodegradar o efluente têxtil Guarany 16- Azul Marinho, utilizando-o como fonte nutricional. A levedura apresentou crescimento superior ao controle ausente de corante, sendo observado a diferença de crescimento nas primeiras 24 horas de ensaio.

O presente estudo demonstrou que a biossorção e a biodegradação utilizando a levedura *Saccharomyces cerevisiae* é eficaz para o tratamento de corantes têxteis e contribuiu na caracterização do corante comercial desconhecido na literatura, auxiliando em estudos posteriores sobre o tratamento do mesmo. Ademais, propõe-se que novos estudos sejam realizados utilizando corantes têxteis comerciais e industriais, em períodos maiores de agitação e variáveis como temperatura e enriquecimento da levedura, para avaliar a capacidade biossortiva e biodegradativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIT. **Associação Brasileira da Indústria Têxtil**. Dados gerais do setor. Disponível em: <<http://www.abit.org.br>>. Acesso em 03 ago. 2023.
- ABRAHANT, E. *Dyes and Their Intermediates*; **Edward Arnold Ltd.**; London, 1977.
- AGNOL, R. **Biossorção do corante preto reativo 5 utilizando *Saccharomyces cerevisiae* esgotada do processo fermentativo da produção de cerveja**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- ALMEIDA, E. et al. **A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes**. p. 18, 2016.
- ANASTÁCIO, L. et al. Corantes alimentícios amaranato, eritrosina B e tartrazina, e seus possíveis efeitos maléficos à saúde humana. **Journal of Applied Pharmaceutical Sciences**, 2016.
- BALAN, D. **Biodegradação e toxicidade de efluentes têxteis: Corante índigo**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 130f, 1998.
- BAÊTA, B. et al. Evaluation of soluble microbial products and aromatic amines accumulation during a combined anaerobic/aerobic treatment of a model azo dye. **Chemical Engineering Journal**, v. 259, p. 936–944, 2015.
- BARBOSA, J. **Estudo da interação biosortiva entre os corantes Direct Red 23 e Reative Procion Red HE7B e células de *Saccharomyces cerevisiae***. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Aplicada), Instituto de Biociências, UNESP, 1995, 93f.
- BARROS, E.L.B.; **Remoção de corante de efluente têxtil sintético utilizando floculação iônica**. Natal, 2019.
- BARTHA, R; PRAMER, D. Features of a flask and Method for Measuring the Persistence and Biological Effects of Pesticides in Soil. **Soil Science**, 100 (1), 68-70, 1965.
- BELÉM, Y. **Adsorção do corante tartrazina em carvão ativado de casca de banana nanica**. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2018.
- BENNETT, J. Mycotechnology: the role of fungi in biotechnology. **Journal of Biotechnology**, v.66, p.101-107, 1998.
- BRASIL. **Resolução No 357**, de 17 de março de 2005. [s.l: s.n.].
- BRASIL. **Resolução No 430**, de 13 de maio 2011. [s.l: s.n.].
- CARVALHO, P. **A importância da indústria da moda para a produção têxtil**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, p.06, 2010.
- CERON, P., CORSO, C. Interação entre corantes azóicos e *saccharomyces cerevisiae* irradiado por ultra-som. **III Simpósio de Pós Graduação e Pesquisa em Ciências Biológicas**, Atibaia, SP, v. 3, p. 177, 1993.
- CLARK, M. *Fundamental principles of dyeing*. **Woodhead Publishing Limited**, 2011.

- CURSINO, R. et al. Avaliação de leveduras como biocatalisadores da descoloração aeróbia de corantes orgânicos sintéticos. **COBEQ**, Campinas, Galoá, 2016.
- DIAS, H. **Co-digestão anaeróbia de efluente têxtil com levedura residual oriunda do processo de fermentação alcoólica visando remoção de cor e produção de biogás**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP, 2020.
- DILARRI, G., et al. Removal of Dye Toxicity from an Aqueous Solution Using an Industrial Strain of *Saccharomyces Cerevisiae* (Meyen). **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 227, p. 269, 2016.
- DOS SANTOS, A. et al. Effects of different redox mediators during thermophilic azo dye reduction by anaerobic granular sludge and comparative study between mesophilic (30 degrees C) and thermophilic (55 degrees C) treatments for decolourisation of textile wastewaters. **Chemosphere**, v. 55, n. 9, p. 1149–57, jun. 2004.
- EICHLEROVÁ, I, et al. Decolorization of high concentrations of synthetic dyes by the white rot fungus *Bjerkandera adusta* strain CCBAS 232. **Dyes and Pigments**, volume 75, p. 38-44, 2007.
- EL-RAHIN, W. et al. A. The effect of pH on bioremediation potential for the removal of the removal of direct violet textile dye by *Aspergillus niger*. **Desalination**, v. 249, p. 1206-1211, 2009.
- ERCOLINI, S. **Análise do potencial biodegradativo da levedura *Saccharomyces cerevisiae* na remoção de corantes têxteis e efluente coletado de uma lavanderia industrial têxtil: um estudo da biorremediação**. UNESP, Itapeva, 2018.
- FERREIRA, J. et al. Estudo do equilíbrio e cinética da bioadsorção do Pb²⁺ por *Saccharomyces cerevisiae*. **Química Nova**, vol. 30, n. 5, Campina Grande, PB, 2007.
- Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico. **NBR 14725-4:2014**. 2020. Disponível em: <<https://www.guaranycorantes.com.br/FISPQ/fispq-tingecor.pdf>>. Acesso em 03 ago. 2023.
- FILLETI, J.P.; BOLDRIN, R.; A indústria têxtil no Brasil: um modelo econométrico analisando a hipótese de desindustrialização setorial. **Economia e Sociedade**. Campinas, p. 868, 2020.
- FREITAS, L.; **A política econômica externa Brasileira e a Indústria Têxtil de 2013 a 2017**. São Paulo, p.11, 2019.
- FUHS, G. Der mikrobielleabbau von kohlenwasserstoffen. **Archives of Microbiology**, v.39, p.374-422, 1961.
- FUJITA, R.; JORENTE, M. A Indústria Têxtil no Brasil: uma perspectiva histórica e cultural. **Moda Palavra e periódico**, Florianópolis, SC, v. 8. p, 155, 2015.
- GADANHOTO, B. **Controle biológico de fungos fitopatogênicos por *Phyllosticta citricarpa* e sua aplicação para biorremediação de solos contaminados por herbicidas**. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2022.
- GONG, R., et al. A novel pH-sensitive hydrogel based on dual crosslinked alginate/N- α -glutaric acid chitosan for oral delivery of protein, **Carbohydrate Polymers**. **ScienceDirect**, v. 85, p. 869–874, 2011.

- GÜRSES, A. et al. Classification of Dye and Pigments. In: Dyes and Pigments. p. 31–45, 2016.
- HA, C., et al. Analysis of alkali- soluble glucan produced by *Saccharomyces cerevisiae* wild-type and mutants. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 58, n. 3, p. 370-377, 2002.
- KAPOOR, A., VIRARAGHAVAN, T. Fungal Biosorption – an alternative treatment option for heavy metal bearing wastewaters: a review. **Bioresourse Technology**, v. 53, p. 195-206, 1995.
- KAUSHIK, P., MALIK, A., Fungal dye decolorization: Recent advances and future potential, **Environment International**, v. 35, p. 127-141, 2009.
- KIAYI et al. Microbial degradation of azo dye carmoisine in aqueous medium using *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763, **Journal of Hazardous Materials**, v. 373, p. 608-619, 2019.
- KON, A.; COAN, D.C.; Transformações da indústria têxtil brasileira: a transição para a modernização. Revista de Economia Mackenzie, p.14, 2005.
- LELES, D. **Avaliação ecotoxicológica de efluente têxtil com corante utilizando sementes de *Lactuca sativa* e *Allium cepa***. Monografia, Universidade de Goiás. Goiânia, 2017.
- MAGALHÃES, R.; VENDRAMINI, A. **Os impactos da quarta revolução industrial**. p.40-43, 2018.
- MAHMOUD, M. Decolorization of certain reactive dye from aqueous solution using Baker's Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) strain, **HBRC Journal**, v. 12, p. 88-98, 2016.
- MARCELINO, R. et al. **Tendências e desafios na aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento de efluentes industriais não biodegradáveis**. Belo Horizonte, p.360, 2013.
- MATCHIVANAN, M et al. Dye Degradation using *Saccharomyces Cerevisiae*. **International Journal of Engineering & Technology**. v, 7. p, 180. 2018.
- MELO, L. **Capacidade biossortiva de leveduras *saccharomyces cerevisiae* em contato com corante violeta cristal e viabilidade de uso na indústria têxtil**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2021.
- MITTER, E., et al. Analysis of acid Alizarin Violet N Dye Removal Using Sugarcane bagasse aas adsorbent. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 223, n. 2, p. 765-770, 2012.
- MORÃO, L. **Biossorção do corante DR 23 por *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em serragem de peroba (*Aspidosperma polyneuron*) tratada com PEI (polietilenoimina)**. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 2014.
- MURUGESAN, K. et al. Decolorization of reactive black 5 by laccase: Optimization by response surface methodology. **Dyes and Pigments**, vol. 75, p. 176-184, 2007.
- ÖZER, A.; ÖZER, D. Comparative study of the biosorption of Pb(II), Ni(II) and Cr(VI) ions onto *Saccharomyces cerevisiae*: determination of biosorption heats. **Journal of Hazard Materials**, v. 100, p. 219-229, 2003.

- PAJOOTAN, E.; ARAMI, M.; MAHMOODI, N. M. Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 43, p. 282-290, 2012.
- PEIXOTO, F.; et al. **Corantes têxteis: uma revisão**. HOLOS. p.98-103, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.15628/holos.2013.1239>>. Acesso em 03 de ago. 2023.
- PEREIRA, L. **Empresários, suas origens, e as interpretações do Brasil**. p.11, 1994.
- QUEIROZ, M.T.A.; et al. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. **Gest. Prod.** São Carlos, 2019.
- REVANKAR, M., LELE, S. Synthetic dye decolorization by *Ganoderma* sp., WR-1. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 775-780, 2007.
- RITTER, M. T. **Influência do pH no processo de eletrocoagulação aplicado a efluentes têxteis tratados biologicamente**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis, 2016.
- RODRIGUES, H. **Potencial biossortivo e biodegradativo da *Saccharomyces cerevisiae* imobilizada em alginato de cálcio e em células livres na remoção de corantes têxteis de efluente**. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2010.
- RODRIGUES, T. **Uso da biomassa viva e morta de levedura cervejeira *Saccharomyces cerevisiae* kveik na remoção de níquel e zinco de soluções aquosas**. Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ, mar. 2023.
- Russel Kightley Media: Scientific Illustrator**, 2012. Disponível em: <<https://rkm.com.au/PRINTS.html>>. Acesso em: 08 de ago. 2023.
- SANTOS et al. Biossorção do corante têxtil Reactive Black B por *Saccharomyces Cerevisiae* modificada por KMNO₄. **Congresso Abes Fenasan**, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 2017.
- 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 Chemical Engineers**, v. 42, n. 1, p. 138–157, 2011.
- SARMA, J., et al. Biosorption of commercial dyes on *Azadiracta indica* leaf powder: A case study with a basic dye Rhodamine B. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 47, p. 5433–5440, 2008.
- SCHNEIDER, M. **Avaliação dos métodos para determinação da taxa de biodegradação de hidrocarbonetos monoaromáticos e etanol em ambientes subsuperficiais**. Florianópolis, 2001.
- SINDTÊXTIL. Setor Têxtil Paulista. Disponível em: <<http://www.sinditextilsp.org.br>>.
- SILVA, C.H.P.M.; **Microbiologia da Cerveja**. Editora Livraria da Física. São Paulo, 2019.
- STAMBUK, B. A simple experiment illustrating metabolic regulation: induction versus repression of yeast α -glucosidase. **Biochemical Education**, New York, v. 27, n. 3, p. 177-180, jul. 1999.

- SZAFRAN, Z. et al. *Microscale Inorganic Chemistry*, **John Wiley & Sons Inc.**, London, chap. 6, p. 114-125, 1991.
- TAN, L., et al. Aerobic decolorization, degradation and detoxification of azo dyes by a newly isolated salt-tolerant yeast *Scheffersomyces spartinae* TLHS-SF1. **Bioresource Technology**, v. 203, p. 287-294, 2016.
- U.S. Environmental Protection Agency. Solid waste and emergency response glossary--Bioaccumulation: **U.S. Environmental Protection Agency**. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-03/documents/2014_dqrs_certified.pdf>. Acesso em 29 de jul. 2023.
- VASUDEVAN, P. et al. Kinetics of biosorption of cadmium on baker's yeast. **Biosource Technology**, v. 89, p. 281-287, 2003.
- VICTRAL, D. **Aplicação de Levedura Residual como Fonte de Mediadores Redox na Descoloração Redutiva de um Azo Corante Modelo**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, 2015.
- VOUTSAS, E., et al. Prediction of the bioaccumulation of persistent organic pollutants in aquatic food webs. **Chemosphere**, v. 48, p. 645-651, 2002.
- WELHAM, A. The theory of dyeing (and the secret life). **Journal Society Dyers Colour**, [S.l.], v. 116, p. 140-143, 2000.
- WON, S. W.; CHOI, S. B.; CHUNG, B. W.; PARK, D.; PARK, J. M.; YUN, Y. S. Biosorptive Decolorization of Reactive Orange 16 Using the Waste Biomass of *Corynebacterium glutamicum*. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 43, p. 7865-7869, 2004.
- YESILADA, O., et al. Decolorization of textile dyes by fungal pellets. **Process Biochemistry**, v. 38, p. 933-938, 2003.
- ZHANG, H. et al. Bioinspired synthesis of nitrogen / sulfur co-doped graphene as an efficient electrocatalyst for oxygen reduction reaction. **Journal of Power Sources**, v. 279, p. 252-258, 2015.

APÊNDICES

TABELA 3. Análises de absorção do corante na concentração de 5%.

Concentração	Biomassa	pH	Absorbância 24h	Absorbância 48h	Absorbância 72h
5	Viva	2,5	2890	2394	1994
5	Viva	2,5	2935	2454	2125
5	Viva	2,5	2938	2467	2148
5	Morta	2,5	2987	2376	1776
5	Morta	2,5	2971	2307	1576
5	Morta	2,5	2976	2311	1562
5	Viva	4,5	2964	2788	2578
5	Viva	4,5	2984	2794	2642
5	Viva	4,5	2957	2773	2676
5	Morta	4,5	2988	2822	2768
5	Morta	4,5	2981	2816	2783
5	Morta	4,5	2986	2819	2799

Fonte: Autora, 2023.

TABELA 4. Análises de absorção do corante na concentração de 10%.

Concentração	Biomassa	pH	Absorbância 24h	Absorbância 48h	Absorbância 72h
10	Viva	2,5	>3000	2781	2181
10	Viva	2,5	>3000	2796	2161
10	Viva	2,5	>3000	2804	2207
10	Morta	2,5	>3000	2792	2644
10	Morta	2,5	>3000	2803	2646
10	Morta	2,5	>3000	2811	1952
10	Viva	4,5	>3000	2916	2883
10	Viva	4,5	>3000	2807	2714
10	Viva	4,5	>3000	2925	2891
10	Morta	4,5	>3000	2908	2767
10	Morta	4,5	>3000	2913	2817
10	Morta	4,5	>3000	2911	2806

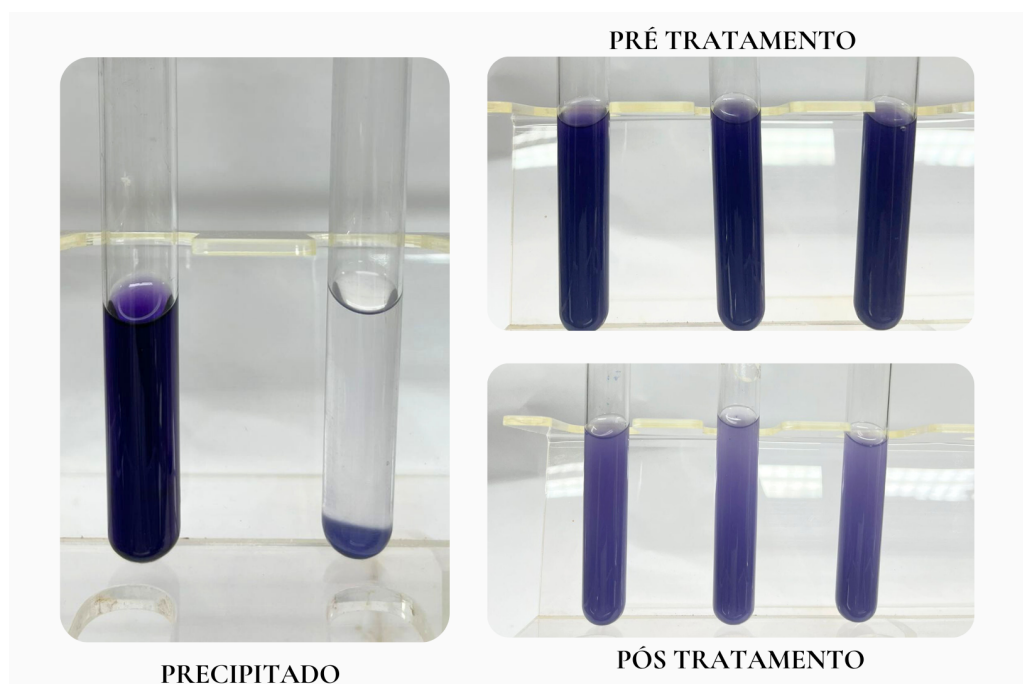
Fonte: Autora, 2023.

TABELA 5. Análises de absorção do corante na concentração de 15%.

Concentração	Biomassa	pH	Absorbância 24h	Absorbância 48h	Absorbância 72h
15	Viva	2,5	>3000	2963	2789
15	Viva	2,5	>3000	2979	2972
15	Viva	2,5	>3000	2951	2951
15	Morta	2,5	>3000	2974	2338
15	Morta	2,5	>3000	2982	2478
15	Morta	2,5	>3000	2978	2449
15	Viva	4,5	>3000	2991	2872
15	Viva	4,5	>3000	2984	2769
15	Viva	4,5	>3000	2995	2874
15	Morta	4,5	>3000	2995	2892
15	Morta	4,5	>3000	2992	2876
15	Morta	4,5	>3000	2996	2804

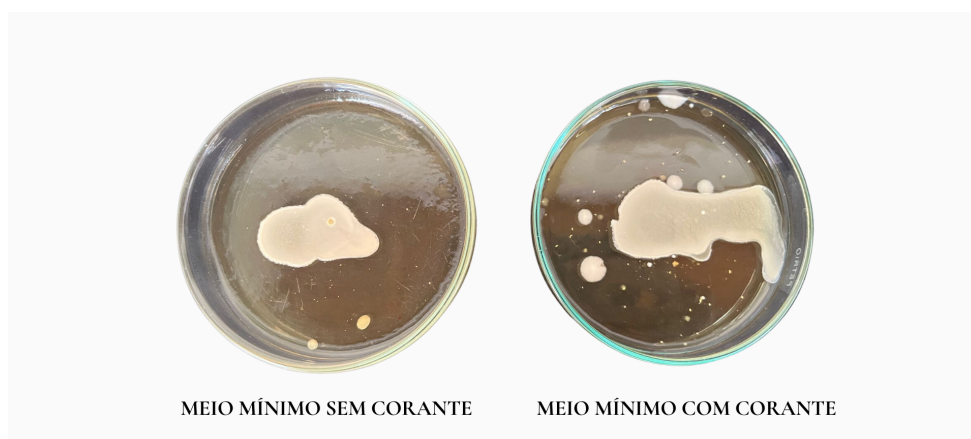
Fonte: Autora, 2023.

FIGURA 10. Ensaios de adsorção após o período de 72 horas em contato com a levedura.



Fonte: Autora, 2023.

FIGURA 11. Comparação de crescimento radial da levedura em meio mínimo sem exposição ao corante x com exposição ao corante.



Fonte: Autora, 2023.