



**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA “MINISTRO
RALPH BIASI”**

Curso Superior de Tecnologia em Têxtil e Moda

BRUNA FERRAZ DE SOUSA

**PIGMENTOS DE ORIGEM MICROBACTERIANA: EXPLORANDO CORANTES
NATURAIS DE MICRORGANISMOS NO SEGMENTO DE TÊXTIL E MODA**

AMERICANA, SP

2023

BRUNA FERRAZ DE SOUSA

**PIGMENTOS DE ORIGEM MICROBACTERIANA: EXPLORANDO CORANTES
NATURAIS DE MICROORGANISMOS NO SEGMENTO DE TÊXTIL E MODA**

**Trabalho de Conclusão desenvolvido
em cumprimento à exigência curricular
do Curso Superior de Tecnologia em
Têxtil e Moda pelo CEETEPS/ Faculdade
de tecnologia- FATEC/Americana.**

Área de Concentração: Química Têxtil

Orientador: Professor Doutor João Batista
Giordano

AMERICANA, SP

2023

SOUSA, Bruna Ferraz de

Pigmentos de origem microbacteriana: Explorando corantes naturais de microrganismos no seguimento de têxtil e moda. / Bruna Ferraz de Sousa – Americana, 2023.

49f.

Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Têxtil e Moda) - - Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza

Orientador: Prof. Dr. João Batista Giordano

1. Corantes 2. Química têxtil 3. Tingimento. I. SOUSA, Bruna Ferraz de II. GIORDANO, João Batista III. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – Faculdade de Tecnologia de Americana Ministro Ralph Biasi

CDU: 677.027.42

66:677

677.027.4

Elaborada pelo autor por meio de sistema automático gerador de ficha catalográfica da Fatec de Americana Ministro Ralph Biasi.

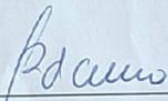
BRUNA FERRAZ DE SOUSA

**PIGMENTOS DE ORIGEM MICROBACTERIANA: EXPLORANDO CORANTES
NATURAIS DE MICROORGANISMOS NO SEGMENTO DE TÊXTIL E MODA**

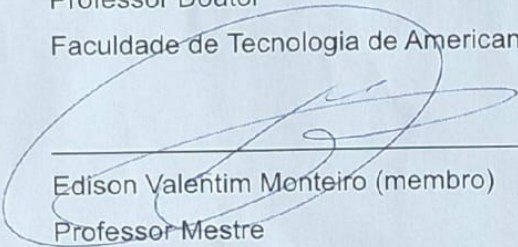
Trabalho de Conclusão desenvolvido em
cumprimento à exigência curricular do
Curso de Tecnologia em Têxtil e Moda pelo
CEETEPS/ Faculdade de tecnologia-
FATEC/Americana.

Data da aprovação: 28/11/2023

Banca Examinadora:



João Batista Giordano (Presidente)
Professor Doutor
Faculdade de Tecnologia de Americana, SP



Edison Valentim Monteiro (membro)
Professor Mestre

Faculdade de Tecnologia de Americana, SP



Valdecir José Tralli (membro)
Professor Mestre

Faculdade de Tecnologia de Americana, SP

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por sua infinita bondade, por ter me ajudado a chegar até aqui e superar mais essa etapa da minha vida, me dando forças dia a dia para enfrentar os desafios.

Aos meus pais, Fábio José e Rosemeire, por tudo que fizeram e fazem por mim e pela minha educação, por todo incentivo, carinho, abraços e orações. Vocês sempre foram minha maior inspiração.

Ao meu irmão, Fábio Augusto, por todo companheirismo, apoio, sorrisos, incentivo e colaboração em toda essa jornada.

A minha família por todo apoio e compreensão de minha ausência, nos diversos momentos em que gostaria de estar perto, mas que não foi possível.

Ao professor Doutor João Batista Giordano, por ter aceitado ser meu orientador, por disponibilizar o laboratório para realização do trabalho e por se colocar à disposição todas as vezes que surgiram dúvidas, compartilhando sua imensa sabedoria.

Aos amigos que o curso de Têxtil e Moda me deu, por todo companheirismo, compreensão e conversas cheias de risos, obrigada por fazerem meus anos da faculdade serem tão leves e incríveis.

Enfim, a todos que contribuíram de maneira direta ou indireta para a realização deste trabalho, meu muito obrigada!

RESUMO

À medida que a produção e utilização de corantes/ pigmentos sintéticos aumentaram, observa-se um aumento nos relatos de problemas relacionados à saúde e aos impactos ambientais, ou que suscitam uma reavaliação do uso de substâncias químicas. Essa crescente conscientização sobre os riscos potenciais tem instigado uma reflexão sobre a necessidade de buscar alternativas mais sustentáveis e seguras na indústria de corantes e pigmentos.

No setor têxtil, o investimento significativo em pesquisas para explorar novas fontes de corantes naturais tornou-se uma área em ascensão. Uma abordagem notável envolve a utilização de microrganismos na produção de pigmentos/corantes naturais. Deste modo, esse trabalho de conclusão do curso de têxtil e moda recaiu sobre esse tema, visando explorar pigmentos de origem microbacterianas.

Este estudo se concentra na análise do tingimento com bio-corantes, avaliando não apenas a capacidade de coloração, mas também a solidez das lavagens e fricção. A pesquisa visa compreender as previsões práticas e durabilidade dos pigmentos/corantes derivados de microrganismos. Ao explorar esses aspectos, o estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre bio-corantes e direciona para estudos futuros.

Palavras-chaves: Pigmentos, Corantes, Micro-organismos, Biotecnologia, Bio-corantes, Tingimento.

ABSTRACT

As the production and use of synthetic dyes/pigments has increased, there has been an increase in reports of problems related to health and environmental impacts, or that prompt a re-evaluation of the use of chemical substances. This growing awareness of the potential risks has triggered a reflection on the need to look for more sustainable and safer alternatives in the dyes and pigments industry.

In the textile sector, significant investment in research to explore new sources of natural dyes has become an up-and-coming area. One notable approach involves the use of microorganisms in the production of natural pigments/dyes. As such, this final paper for the textiles and fashion course focused on this theme, with the aim of exploring pigments of microbial origin.

This study is focused on the analysis of dyeing with bio-dyes, evaluating not only the coloring capacity, but also the solids of washing and rubbing. The research aims to understand the practical predictions and durability of pigments/dyes derived from microorganisms. By exploring these aspects, the study contributes to the advancement of knowledge about bio-dyes and provides direction for future studies.

Keywords: Pigments, Dyes, Micro-organisms, Biotechnology, Bio-dyes, Dyeing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Demonstração de solubilidade	15
Figura 2- Esquematização da Classificação de Corantes Naturais.....	16
Figura 3- Estrutura química de corantes naturais.....	17
Figura 4- Estrutura química de corantes/pigmentos sintéticos.....	19
Figura 5- O campo da Biotecnologia.....	22
Figura 6- Estrutura química de alguns corantes naturais produzidos por microrganismos.....	27
Figura 7- Corante Bacteriano	36
Figura 8- Informações Sobre o Pigmento Utilizado	37
Figura 9- Processo de tingimento do tecido de algodão.....	38
Figura 10- Processo de tingimento do tecido de seda	39
Figura 11- Aparelho HT.....	40
Figura 12- Aparelho Crockmeter	40
Figura 13- Coloração obtida na amostra de algodão	41
Figura 14- Coloração obtida na amostra de seda.....	42
Figura 15- Tecido de algodão- escala de cinza	42
Figura 16- Tecido de seda- escala de cinza.....	43
Figura 17- Amostra de algodão do Crockmeter	44
Figura 18- Amostra de algodão- escala de cinza	44
Figura 19- Amostra de seda do Crockmeter	45
Figura 20- Amostra de seda- escala de cinza.....	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	PIGMENTOS E CORANTES.....	13
	2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA.....	13
	2.2 DEFINIÇÃO DE PIGMENTOS E CORANTES.....	14
	2.2.1 Pigmentos/Corantes Naturais	16
	2.2.2 Pigmentos/Corantes Sintéticos	18
3	BIOTECNOLOGIA	21
	3.1 BIO- PIGMENTOS.....	23
	3.2 AVANÇO NAS ESTIRPES BACTERIANAS.....	27
	3.3 MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE PIGMENTOS BACTERIANOS.....	29
	3.3.1 Produção de Pigmento através de Fermentação.....	29
	3.3.2 Separação de Pigmentos bacterianos.....	30
4	SUSTENTABILIDADE E IMPACTO AMBIENTAL.....	32
5	PECTIVAS ECONOMICAS FUTURAS	34
6	EXPERIMENTAL.....	36
	6.1 MATERIAIS.....	36
	6.2 EQUIPAMENTOS.....	36
7	METODOLOGIA.....	37
	7.1 TECIDOS UTILIZADOS.....	37
	7.2 CORANTE UTILIZADO	37
	7.3 TINGIMENTO DOS TECIDOS	38
	7.3.1 Tecido de Algodão.....	38
	7.3.2 Tecido de Seda.....	38
	7.4 LAVAGEM DOS TECIDOS	39
	7.5 TESTE DE SOLIDEZ	39
8	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
	8.1 TECIDO DE ALGODÃO.....	41
	8.2 TECIDO DE SEDA.....	41
	8.3 ENSAIO DE SOLIDEZ	42

8.3.1 Ensaio de Solidez a Lavagem	42
8.3.2 Ensaio de Solidez a Fricção.....	44
9 CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS.....	47

1 INTRODUÇÃO

Pigmentos são compostos, sejam de fonte natural ou sintética, destinados a conferir ou acentuar a coloração de um produto. Os pigmentos desempenham um papel fundamental tanto na natureza quanto na indústria, influenciando nossa percepção visual do mundo e tendo várias aplicações significativas.

Na natureza, os pigmentos desempenham um papel crucial na fotossíntese, o processo pelo qual as plantas, algas e algumas bactérias convertem a luz solar em energia química, produzindo pigmentos verdes, como a clorofila. Além disso, pigmentos naturais, como os carotenoides, são responsáveis pelas cores vibrantes de muitos frutos, vegetais e flores, desempenhando um papel na polinização e na dispersão de sementes. E na indústria, os pigmentos são amplamente utilizados em uma variedade de setores, como alimentos, cosméticos, tintas, plásticos e têxteis. Eles são essenciais para a formulação de produtos que apelam visualmente aos consumidores, influenciando as preferências de compra e a identificação de marcas. Além disso, os pigmentos são vitais para a indústria de tintas e revestimentos, onde conferem cores, durabilidade e proteção.

Com as recentes expressões da sociedade em prol da preservação dos recursos naturais e de estilos de vida mais sustentáveis, surge um novo paradigma. Nesse contexto, produtos de origem natural ganham crescente valor no mercado em comparação com os produtos sintéticos. Isso tem incentivado um aumento significativo na pesquisa voltada para a sustentabilidade em várias indústrias, com o objetivo de reduzir o uso de matérias-primas não renováveis, substituindo-as por renováveis. Esses esforços têm levado a avanços notáveis na resolução de questões relacionadas à saúde humana e à conservação ambiental ao longo das últimas décadas.

Os microrganismos emergiram como uma alternativa sustentável e promissora na produção de pigmentos e corantes, suplantando os métodos convencionais de origem químicas ou baseados em recursos naturais não renováveis. Esses microrganismos representam uma das ferramentas mais versáteis da biotecnologia para a produção de uma ampla gama de substâncias, que vão desde enzimas, antibióticos, ácidos orgânicos até pigmentos. A presença de pigmentos foi identificada em todo o reino microbiano, abrangendo bactérias, fungos, leveduras, algas e protozoários (Guimarães, 2018). Essa abordagem sustentável se destaca por ser menos intensiva

em recursos naturais, reduzindo a dependência de fontes não renováveis e por gerar menos resíduos tóxicos.

Embora existam estudos documentados na literatura sobre a extração de pigmentos a partir de bactérias, observa-se uma carência de resultados otimizados que superem diversas limitações quando se trata da extração em larga escala desses pigmentos. Nesse contexto, estratégias que visem ao crescimento das bactérias e, conseqüentemente, à produção de pigmento diretamente nos materiais têxteis em que serão aplicados ganham relevância. Essa abordagem busca otimizar os meios de cultura e os processos de fermentação, visando atingir a capacidade máxima de produção dos bio-pigmentos.

Diante do exposto, o pigmento bacteriano cedido pela empresa AIPER, obtido como subproduto da produção de Violaceína, da Bactéria *Janthinobacterium lividum*, se tornou material de estudo, com o intuito de aplicar, no segmento de têxtil e moda, corantes naturais produzidos por microrganismos quando submetidos a processos biotecnológicos.

2 PIGMENTOS E CORANTES

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO HISTÓRICA

Desde o período mais antigo da pré-história, com desenhos e gravuras no interior das cavernas até a utilização nas indústrias alimentícia, farmacêutica, têxtil e de cosméticos, os seres humanos se beneficiam dos pigmentos das mais variáveis formas. A aplicação dos pigmentos é dada pelo período Paleolítico (30.000 – 8.000 a.C.), de modo que “as tintas eram conseguidas com matérias minerais, argilas coloridas, triturando-as e dissolvendo-as em água, gordura animal e vegetal, sangue de animal e excrementos de aves. A cor negra era obtida queimando osso ou madeira” (Filho, 1989, p.10).

No Egito antigo, a cor teve papel significativo em todas as representações artísticas para a sociedade, religião e cultura. Os egípcios acreditavam que as qualidades mágicas de uma cor específica se tornassem parte integrante de qualquer objeto ao qual foi adicionado, como em esculturas, pinturas e murais. Além de aplicar pigmentos nos objetos decorativos, os egípcios utilizavam no cosmético.

“Antes da era moderna, os pigmentos orgânicos naturais eram uma parte importante e histórica, principalmente para a ornamentação, cosmética e tingimento de têxteis” (Singh, 2018, tradução própria). Naturalmente, como os pigmentos naturais eram a única fonte de cor acessível foram largamente utilizados e comercializados, dessa forma se desenvolvendo e desenvolvendo uma importância significativa na humanidade.

Contudo, em 1856, Sir William Henry Perkin um jovem químico de apenas 18 anos, ao tentar manipular o agente antimalária, Quinina, por oxidação da anilina, obteve um composto diferente: um pigmento púrpuro, que inicialmente foi chamado de “Mauve” e mais tarde, “Mauveine”, por alusão à cor da flor da malva silvestre (Da Costa, 2007). Dessa forma, os corantes naturais foram gradativamente sendo substituídos.

Segundo Da Silva, Amanda “a descoberta de William Perkin é considerada um marco para a indústria de pigmentos. A partir de então, vários pigmentos foram sinteticamente produzidos e utilizados para diversas finalidades. Dos milhares de pigmentos e (ou) corantes disponíveis, mais de 90% são sintéticos” (apud Nagendrappa, 2010).

Os corantes sintéticos são amplamente utilizados na indústria têxtil, gráfica, fotográfica e como aditivos em derivados de petróleo. Porém, a molécula utilizada para o tingimento causa múltiplos problemas ambientais, alterando a qualidade do solo, da água e do ar, por destacar-se propriedades toxicológicas em sua composição, principalmente os corantes pertencentes a família dos azocorantes que atua como grupo cromóforo em boa parte dessas moléculas. Esses compostos além de causar poluição ambiental e afetar processos de fotossíntese, algumas classes e seus subprodutos, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos (KUNZ; DE MORAES & DURÁN, 2002). Ademais, na composição molecular dos corantes sintéticos, apresta-se substâncias xenobióticas, ou seja, são substâncias diferentes aos seres vivos, dessa forma os micro-organismos e demais seres vivos podem não deliberar enzimas capazes de eficientemente degradar tais moléculas (W.S. da Silva, 2013).

Como alternativa aos corantes sintéticos, o uso dos corantes naturais obtidos através de biotecnologia (extraídos a partir de fungos e bactérias) apresentam vantagens até em relação aos corantes naturais convencionais (de fonte vegetal e natural), e vem despertando interesse das indústrias, pois sua produção poder ser otimizada alterando parâmetros de crescimento como temperatura, desse modo não estão sujeitos à sazonalidade (W.S. da Silva, 2013).

2.2 DEFINIÇÃO DE PIGMENTOS E CORANTES

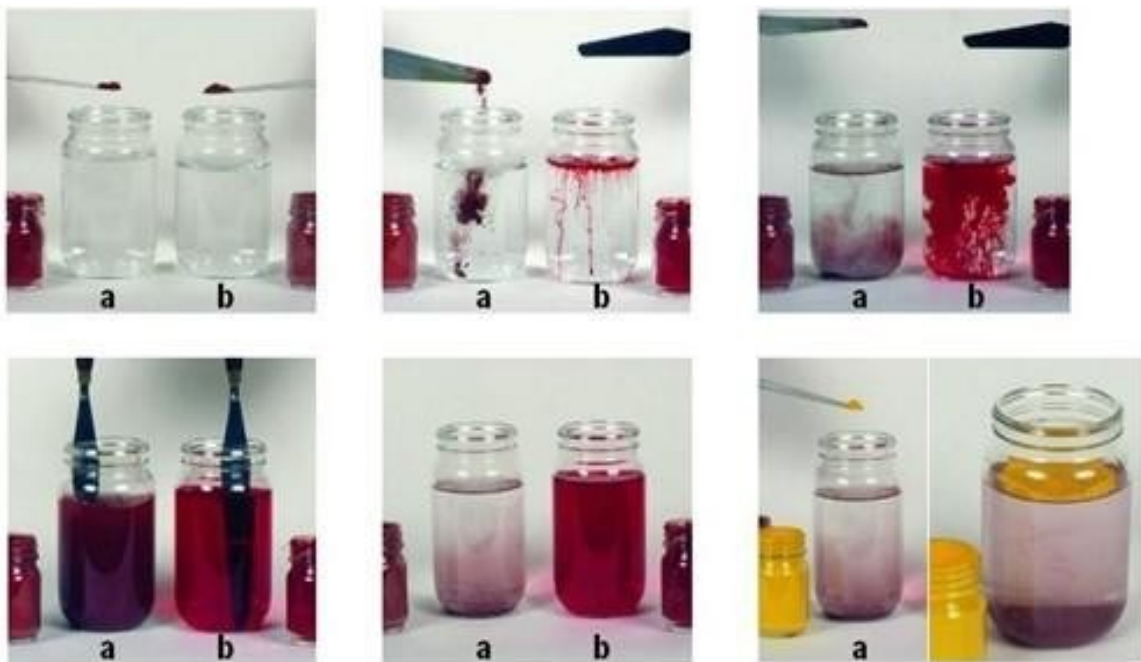
Pigmentos e corantes são títulos dado aos aditivos que resultam de uma absorção seletiva de um determinado comprimento de onda, desse modo conferindo cor ao material. Normalmente existe uma confusão entre os dois termos, a diferença entre eles são basicamente o tamanho da partícula e no grau de solubilidade da matriz polimérica em que é inserido. Geralmente, os pigmentos apresentam partículas maiores e são insolúveis aos polímeros, em contrapartida, os corantes são solúveis aos polímeros. Em muitas situações, um colorante pode operar como pigmento para um certo polímero e como corante para outro, isso acontece devido a interação de certos grupos químicos na estrutura do composto (Saron e Felisberti, 2005).

Os corantes não são abrasivos e, quando se fixam em determinada superfície que vão colorir, atendendo ao mecanismo de adsorção ou ligações iônicas covalentes (ligações essas que são formadas quando dois átomos de uma molécula partilham um elétron), o vínculo é formado e a molécula de corante se torna parte real da

molécula da fibra, permitindo que os polímeros não percam propriedades (Guimarães, 2018). Além de que, os corantes têm alta capacidade de captar radiação luminosa, e permitindo que polímeros transparentes não percam propriedade. Entretanto, a solubilidade apresentada no corante pode ter um lado ruim, pois oferece aos corantes a habilidade de migrar para a superfície do material, ocasionando mudança na coloração do produto e, ainda, podendo sublimar e manifestar toxicidade. Ademais, o preço dos corantes normalmente é mais alto que os dos pigmentos (Saron e Felisberti, 2005).

Já os pigmentos, são matérias insolúveis utilizados na forma de pó (normalmente com partículas de diâmetro na ordem de 1 μm). Os pigmentos podem ser classificados de diversas formas, de acordo com sua forma de extração, podem ser nomeados de: naturais (plantas e de micro-organismos) ou sintéticos (quimicamente), e com relação a sua natureza são considerados orgânicos ou inorgânicos (Da Silva, 2020). Os pigmentos “não migram, não sublimam, são mais baratos e apresentam baixa toxicidade, porém são geralmente abrasivos, difíceis de dispersar e quando incorporados, tornam o material opaco” (Saron e Felisberti, 2005, p.06), Figura 1.

Figura 1: Demonstração de solubilidade (a. Pigmento – insolúvel; b. Corante – solúvel)



Fonte: Disponível em <https://www.royaltalens.com/en/inspiration/tips-techniques/pigments-vs-dyes/> acesso em: 28 de agosto de 2023.

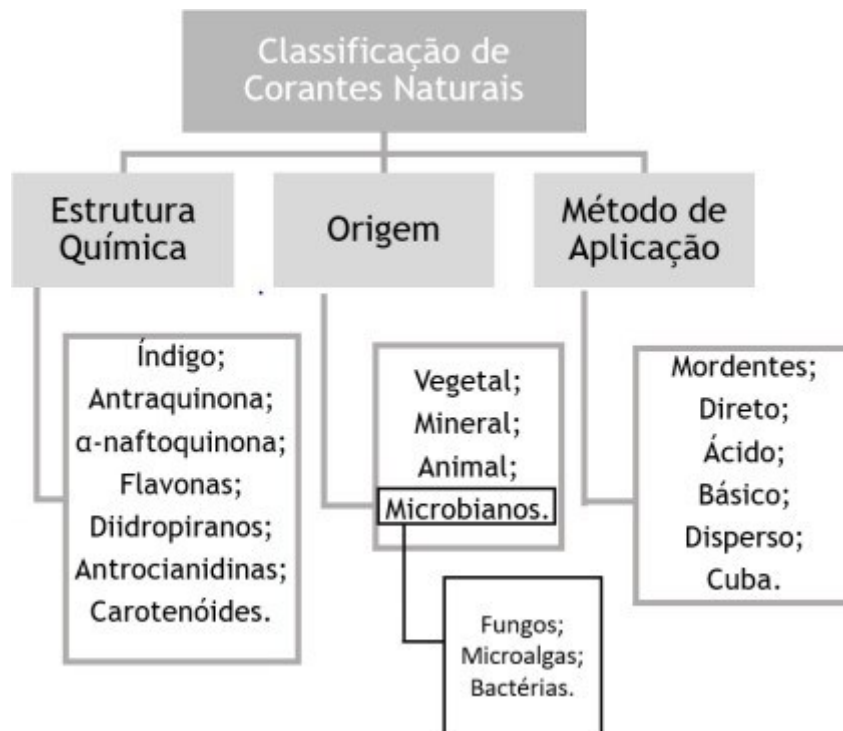
2.2.1 Pigmentos/Corantes Naturais

A utilização de pigmentos naturais remonta a tempos pré-históricos, com evidências de pigmentação de corpos humanos e pinturas em cavernas datando de milhares de anos atrás. Civilizações antigas, como egípcios e gregos, usavam pigmentos naturais em suas artes e rituais. Ademais, na Idade Média, o comércio de pigmentos naturais, como o azul ultramarino extraído de lápis-lazúli, era extremamente valioso e controlado por guildas de pintores. Entretanto, durante a Revolução Industrial, o desenvolvimento de pigmentos sintéticos começou a substituir os pigmentos naturais na indústria, devido à sua maior disponibilidade e estabilidade.

Os pigmentos naturais são compostos químicos coloridos extraídos de fontes naturais, como plantas, minerais, insetos e outros organismos, que possuem a capacidade de conferir cores a materiais, como alimentos, tecidos, tintas, cosméticos e muito mais.

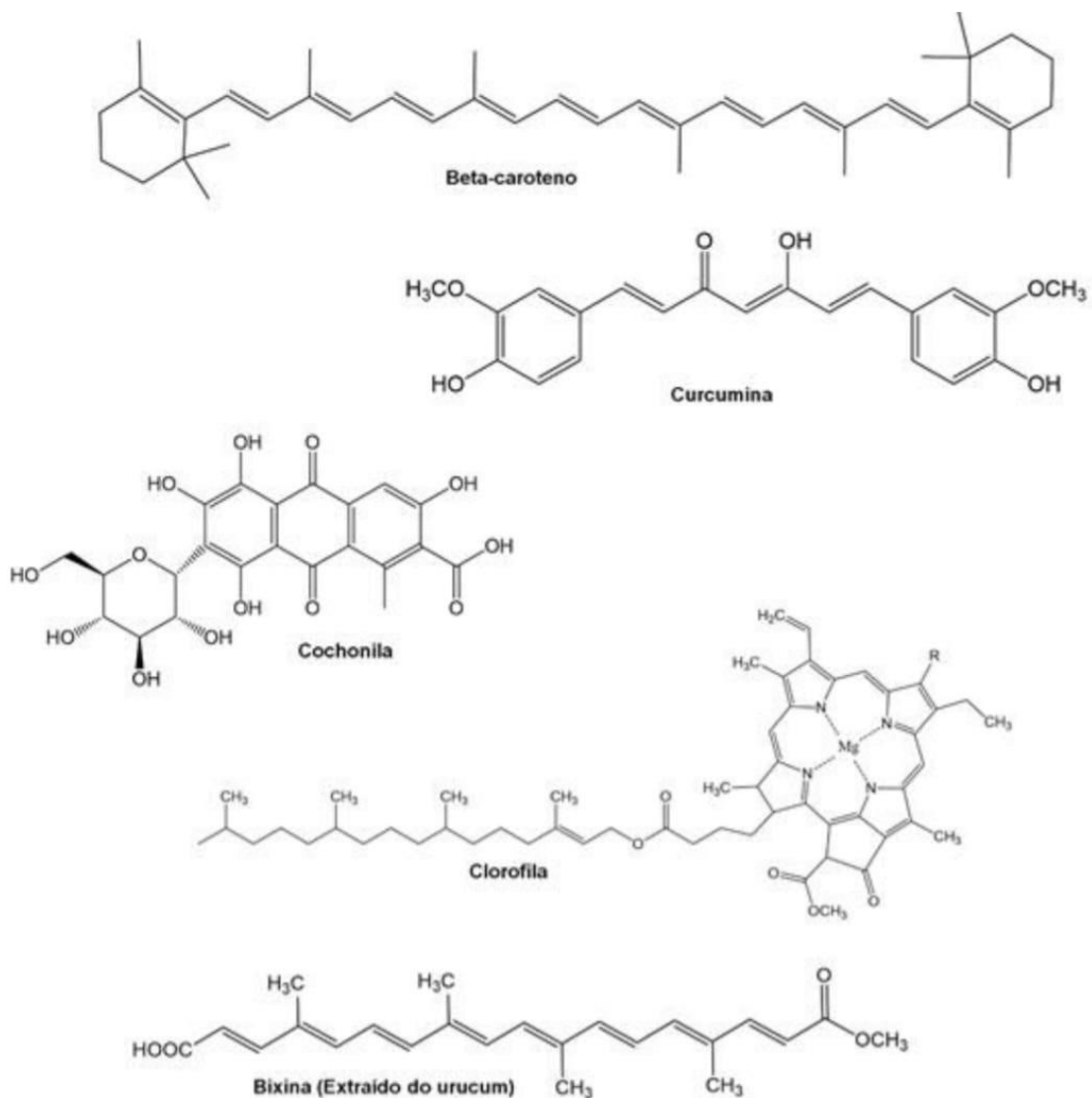
Os corantes naturais podem ser categorizados de acordo com sua composição química, método de aplicação e origem, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Esquematização da Classificação de Corantes Naturais



Estudos revelam que a indústria de corantes naturais está experimentando um aumento de 5- 10%, em contraste com o crescimento de 3- 5% na indústria de corantes sintéticos. Dentre os corantes naturais frequentemente utilizados na indústria de alimentos, destacam-se o urucum, o carmim obtido da cochonilha, a curcumina, as batelaínas e as antocianinas. A Figura 3 ilustra a estrutura química de alguns desses corantes naturais (Martins, 2019).

Figura 3: Estrutura química de corantes naturais



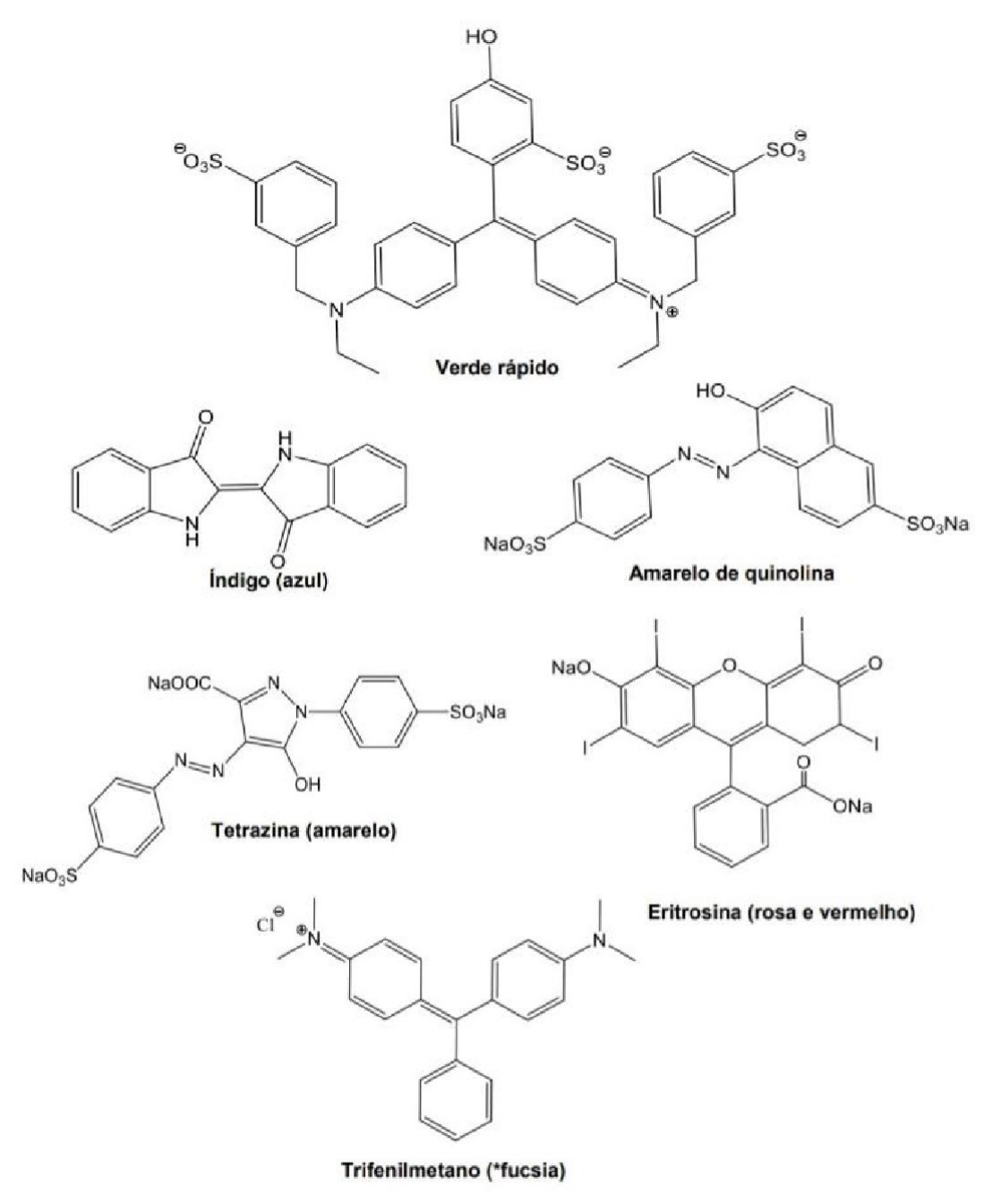
Fonte: Martins, 2019

2.2.2 Pigmentos/Corantes Sintéticos

Corantes sintéticos são pigmentos artificiais produzidos por meio de processos químicos em laboratório ou indústria. Eles são frequentemente utilizados para colorir alimentos, produtos farmacêuticos, têxteis, plásticos, tintas e uma variedade de outros produtos. Esses corantes são criados com o propósito de serem estáveis, seguros e reproduzíveis, muitas vezes substituindo corantes naturais devido à sua capacidade de oferecer cores consistentes e duradouras.

A nível global, existem aproximadamente dez mil corantes e pigmentos diferentes usados na indústria, resultando em um consumo anual de cerca de setecentas mil toneladas em todo o mundo, sendo 26,5 mil toneladas somente no Brasil. Diversos grupos cromóforos são empregados na síntese de corantes atualmente. No entanto, o grupo mais predominante e amplamente utilizado pertence à família dos corantes azo, caracterizados por conterem um ou mais grupos $-N=N$ ligados a sistemas aromáticos. Esses corantes azo constituem aproximadamente 60% dos corantes utilizados globalmente e são amplamente empregados no tingimento de fibras têxteis (Martins, 2019). A Figura 4 exibe a composição química de alguns corantes sintéticos.

Figura 4: Estrutura química de corantes/ pigmentos sintéticos



Fonte: Martins, 2019

Há uma crescente e contante preocupação científica e regulatória com a segurança de aditivos presentes em produtos de consumo. Isso tem levado a pedidos frequentes de reformulação da composição e rotulagem de produtos processados, como observado nas diretrizes de órgãos reguladores, como a ANVISA. O aumento na produção e uso de corantes sintéticos trouxe consigo preocupações ambientais, como baixa biodegradabilidade, e questões de saúde, incluindo alergias e potencial

toxicidade, como mutagenicidade e carcinogenicidade. Por isso, há um interesse global significativo no desenvolvimento de processos para a produção de corantes naturais, como uma resposta aos sérios problemas de segurança associados a muitos corantes artificiais, e isso está alinhado com as abordagens biotecnológicas para sua obtenção (Martins, 2019).

3 BIOTECNOLOGIA

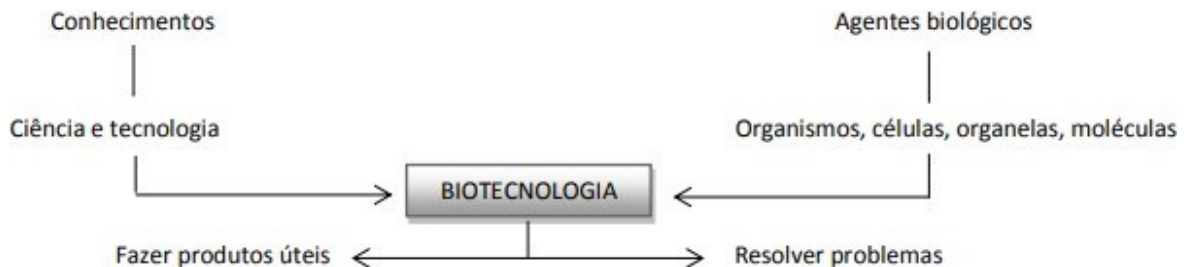
Desde tempos imemoriais, a humanidade se envolveu em práticas como o cultivo de plantas, a domesticação de animais e a exploração das propriedades curativas de plantas, todas essas ações baseadas em conhecimento empírico, sem considerar microrganismos ou leis da hereditariedade. Entretanto, a partir de 1850, novas áreas de conhecimento surgiram, como Microbiologia, Imunologia, Bioquímica e Genética. A Química Industrial também avançou rapidamente, e a Engenharia Agrícola e Pecuária desempenhou um papel cada vez mais importante na gestão rural. Em 1919, o engenheiro agrícola húngaro Karl Ereky introduziu a primeira definição de biotecnologia como "a ciência e os métodos que permitem a obtenção de produtos a partir de matéria-prima, por meio da intervenção de organismos vivos", vislumbrando a era bioquímica como substituta da era da pedra e do ferro (Malajovich, 2011).

Sem dúvida, a proposta de um modelo helicoidal para a molécula de DNA por James D. Watson e Francis Crick em 1953 é um marco fundamental na história da Biologia Molecular. No entanto, a verdadeira divisória entre a Biotecnologia clássica e a Biotecnologia moderna se manifesta através de uma série de experimentos conduzidos por H. Boyer e S. Cohen, que culminaram em 1973 com a notável transferência de um gene de sapo para uma bactéria. A partir desse momento, tornou-se possível reprogramar o código genético de organismos, introduzindo genes de espécies diferentes. Isso marcou um ponto crucial na evolução da Biotecnologia e teve impactos significativos em campos como medicina, agricultura e nas indústrias (Malajovich, 2011).

Desse modo, a "biotecnologia moderna" ficou conhecida pela transferência e modificação genética direta. E a "biotecnologia clássica", por outro lado engloba técnicas convencionais de manipulação de organismos vivos sem intervenção direta no seu material genético (Silveira, Borges e Buainain, 2005).

Nesse contexto, abordaremos a biotecnologia amplamente, descrevendo-a como uma disciplina que faz uso de uma variedade de conhecimentos interdisciplinares e emprega agentes biológicos para a criação de produtos benéficos ou a resolução de desafios (Malajovich, 2011), Figura 5. E "por serem tecnologias aplicáveis em diversos setores e cadeias industriais, seria incorreto, a rigor, falar em biotecnologia como um setor ou uma indústria específica" (Judice e Baêta, 2005, p. 172), tabela 1.

Figura 5: O campo da Biotecnologia



Fonte: Malajovich, 2011.

Tabela 1: Segmentos de Mercado em Biotecnologia

<p>1. Saúde Humana: diagnósticos, medicamentos, vacinas, utilização de biodiversidade.</p> <p>2. Saúde Animal: veterinária (animais de grande porte e domésticos, <i>pets</i>), vacinas, probióticos, nutrição animal, aquacultura.</p> <p>3. Agribusiness: genética de plantas, transgênicos, produtos florestais, ornamentais, medicinais, bioinsecticidas; biofertilizantes; inoculantes.</p> <p>4. Meio ambiente : biorremediação, tratamento de resíduos, análises.</p> <p>5. “Instrumental complementar”: <i>software</i>, internet, bioinformática, <i>e-commerce</i>, P&D, consultorias.</p> <p>6. Insumos industriais: química fina, enzimas, alimentos.</p> <p>7. “Em sinergia” : biomateriais, biomedicina, nanobiotecnologia.</p> <p>8. Fornecedores : equipamentos; insumos e matérias primas.</p>

Fonte: Judice e Baêta, 2005.

O advento da biotecnologia moderna marca o início de uma nova era na medicina, na conservação ambiental, no desenvolvimento de materiais biodegradáveis e no melhoramento genético de plantas e animais. E nos avanços na genética de plantas têm o efeito positivo de reduzir a excessiva dependência da agricultura em inovações mecânicas e químicas, que foram a base da revolução verde. Além de aumentar a produtividade, a biotecnologia moderna pode contribuir

para a redução dos custos de produção, aprimorar a qualidade dos alimentos e promover práticas agrícolas mais sustentáveis (Silveira, Borges e Buainain, 2005).

Entretanto, a biotecnologia gera opiniões e sentimentos conflitantes. Por um lado, alguns a enxergam como uma tecnologia fundamentada em conhecimento científico totalmente inédita, por outro, destaca-se uma considerável falta de conhecimento sobre os potenciais impactos a longo prazo no meio ambiente. Além disso, questões éticas e morais relacionadas as experimentações frequentemente entram em debate.

3.1 BIO- PIGMENTOS

Um fator fundamental para a comercialização de um produto têxtil é a cor (o processo de tingimento), além de atributos como a solidez, resistência a luz, resistência a temperatura, dispersão, lavagem e transpiração, são indispensáveis para a qualidade de um produto. Em relação a essa demanda, nos últimos 100 anos milhões de compostos químicos são sintetizados em escala industrial e estima-se que 2.000 tipos de corantes estão disponíveis a indústria têxtil, com a justificativa de que cada fibra a ser colorida requer um corante com características próprias (Guaratini e Zanoni, 2000).

Entretanto, nos últimos anos com a conscientização e o crescente interesse por produtos naturais levou a exploração das bactérias e dos microrganismos, que são aptos a desenvolver diversos bio-produtos, sendo um deles os pigmentos.

Os microrganismos desenvolvem determinadas substâncias que apresentam cores variadas devido à absorção seletiva de cores (substâncias essas denominadas de pigmentos). Ademais, o crescimento acelerado, a estabilidade, o cultivo relativamente baratos, alto rendimento através da melhoria da cepa, processamento downstream suave para extração e as diferentes tonalidades de pigmentação são algumas das vantagens que os pigmentos microbianos apresentam em relação aos pigmentos sintéticos (Nigam e Luke, 2016). Além de que, os microrganismos desenvolvem diversos pigmentos estáveis, como carotenóides, flavonóides, quinonas e rubraminas, e a fermentação apresenta melhores rendimentos e menores resíduos em relação aos pigmentos naturais que utilizam plantas e animais como recurso (Alihosseini *et al.* 2008).

Os bio- pigmentos, além do atributo da cor, desempenham um papel significativo na área alimentícia, por exemplo os microrganismos *Monascus*, que produz pigmentos não tóxicos e são usados como corantes alimentícios, conservantes alimentar e ainda realçam o sabor dos alimentos (VIDYALAKSHMI et al., 2009).

As cores desempenham um papel crucial na interpretação do ambiente e nas evoluções de organismos superiores para guiar suas interações com outros seres vivos. Entretanto diferente dos outros seres vivos, tais justificativas não se aplicam do porquê certos microrganismos apresentam pigmentação. Devido à falta de percepção de cores nesses microrganismos, é necessário considerar pressões seletivas evolutivas que levaram à aquisição de pigmento, os quais promovem a sobrevivência independente de suas propriedades espectrais de absorção, reflexão ou emissão de luz (Liu e Nizet, 2009).

Alguns dos principais pigmentos obtidos a partir de micro-organismos são apresentados na Tabela 2.

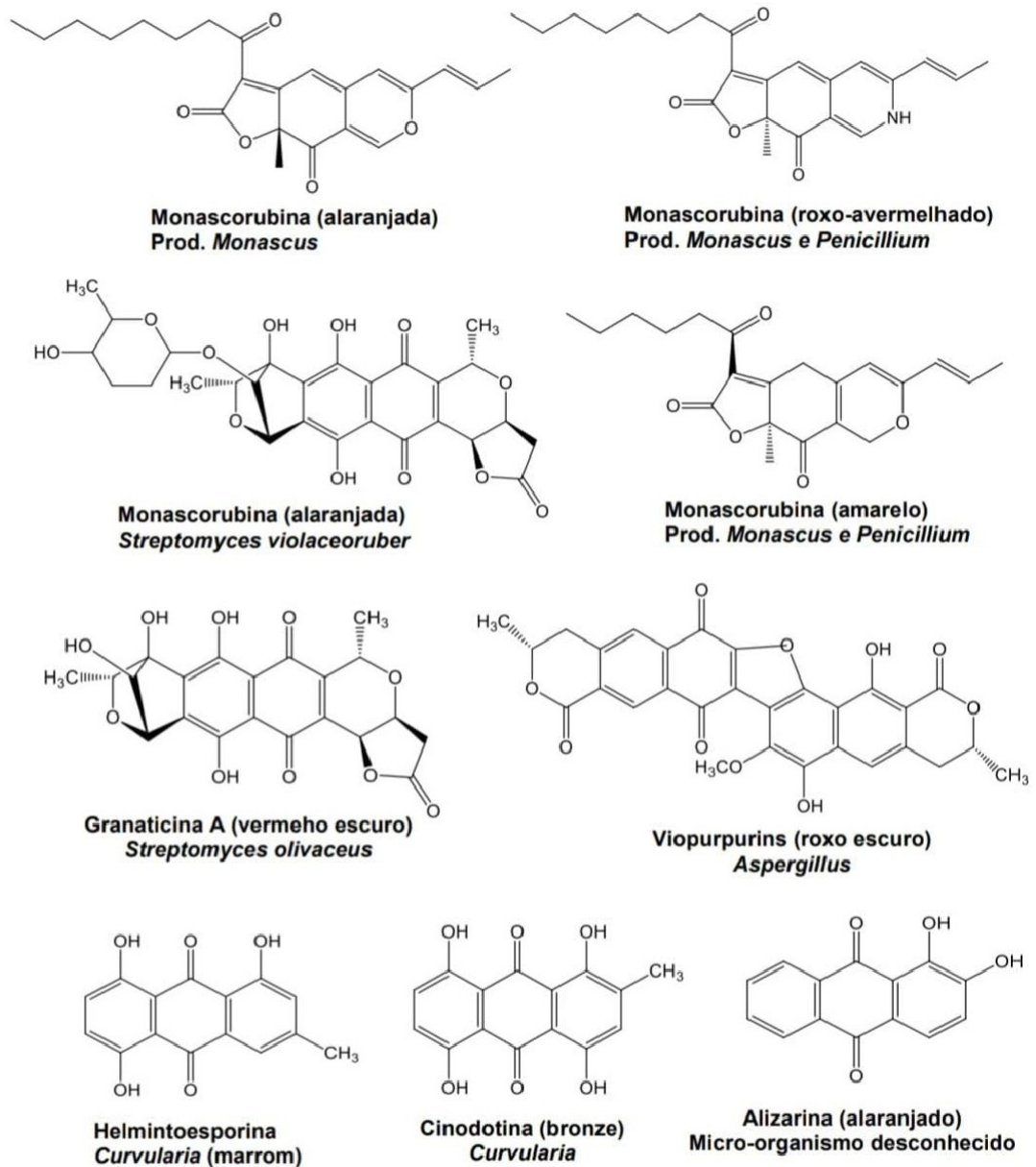
Tabela 2: Exemplos de micro-organismos envolvidos na produção de pigmentos microbianos

Micro-organismo produtor	Pigmento	Cor
<i>Streptomyces coelicolor</i>	Actinorhodina	Azul, vermelho
<i>Monascus</i> sp.	Monascorubrina, Ancaflavina; Rubropuctatina	Amarelo ao vermelho
<i>Fusarium oxysporum</i>	Antraquinonas	Vermelho
<i>Fusarium</i> sp.	Bicaverina	Vermelho
<i>Blakeslea trispora</i> , <i>Dunaliella</i> sp.	β -caroteno	Amarelo, laranja
<i>Chromobacterium violaceum</i>	Violaceína	Violeta
<i>Dermocybe sanguinea</i>	Antraquinonas	Vermelho
<i>Agrobacterium aurantiacum</i>	Astaxantina	Rosa, vermelho
<i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i>	Astaxantina	Rosa, vermelho
<i>Serratia marcescens</i>	Prodigiosina	Vermelho
<i>Penicillium oxalicum</i>	Arpink Red™ (antraquinona)	Vermelho
<i>Penicillium</i> sp.	Outros	Amarelo, vermelho, azul e verde.
<i>Cordyceps unilateralis</i>	Naftoquinona	Vermelho sangue
<i>Mucor circinelloides</i>	β -caroteno	Laranja, Amarelo
<i>Spirulina</i>	Ficocianina	Azul

Fonte: DA SILVA, 2013.

Existem duas principais categorias de corantes produzidos por microrganismos: os policetídeos e os carotenoides. Os corantes policetídeos tem a capacidade de formar compostos policarbonílicos, que, por sua vez, são responsáveis pela geração de composto aromáticos, característicos dos metabólitos secundários de microrganismos. Entre os policetídeos, destacam-se as antraquinonas, hidroxiantraquinonas, naftoquinonas e azaphilones. Já os carotenoides constituem um amplo grupo de pigmentos naturais, com mais de seiscentas estruturas distintas. Eles estão presentes em uma variedade de organismos, incluindo plantas, algas, fungos, bactérias e alguns animais, tanto fotossintetizantes quanto não-fotossintetizantes. A presença desses pigmentos é responsável pela ampla gama de cores, que vão do amarelo ao vermelho, em frutas, flores, vegetais e fungos, e eles são usados em suplementos nutricionais e na indústria de alimentos. Sua diversidade estrutural pe resultado de várias reações químicas, incluindo alongamento de cadeia, isomerização, entre outras. Os carotenoides podem ser divididos em duas categorias principais: carotenos e xantofilas (Martins, 2019). Na Figura 5, pode-se observar a estrutura de alguns corantes naturais produzidos por microrganismo.

Figura 6: Estrutura química de alguns corantes naturais produzidos por microrganismos



Fonte: Martins, 2019

3.2 AVANÇO NAS ESTIRPES BACTERIANAS

Estirpes-padrão ou bactérias de referência são culturas originárias de uma coleção de culturas reconhecida em âmbito nacional e/ou internacional. Elas vêm acompanhadas de um certificado que descreve suas características fenotípicas e genotípicas, bem como outras informações pertinentes. E o termo "cepa" se refere a um grupo de microrganismos da mesma espécie com variações genéticas e

bioquímicas distintas, sendo sinônimo de "linhagens" ou "estirpes", sendo "estirpe" o termo mais comumente utilizado em artigos científicos (Brumano, Ângelo, Amaral *et al.*, 2011).

O aprimoramento de determinadas estirpes bacterianas fora predominantemente realizado por meio de múltiplos experimentos aleatórios de mutação e seleção genética. Nos últimos dez anos, o desenvolvimento de estratégias de execução de genes possibilitou uma desativação eficaz do DNA no genoma, resultando em melhorias significativas na engenharia metabólica de bactérias (Guimarães, 2018). Dessa forma, é essencial conduzir estudos que envolvem a elaboração de um meio de fermentação em grande escala para cada pigmento bacteriano, fazendo uso de baixo custo e extremamente acessíveis, de modo a adequá-los para aplicação em processos comerciais (Venil; Zakaria; Ahmad, 2013).

Progressos recentes na área da biologia sintética e engenharia metabólica estão contribuindo para ampliar significativamente uma gama de pigmentos que podem ser produzidos de forma econômica em especificações adequadas para aplicações industriais. Esta análise abrange o estado atual e os desafios vigentes em termos de tecnologia e economia, além de explorar estratégias para a produção de pigmentos bacterianos e a engenharia metabólica de bactérias (Venil; Zakaria; Ahmad, 2013).

Bactérias pigmentadas podem ser originárias de diversas fontes ambientais que são suscetíveis de serem cultivadas e purificadas. Diferentes meios de crescimento podem ser usados para separar diferentes tipos de bactérias, produtos de pigmento. Essas bactérias têm a capacidade de produzir dois tipos de pigmentos: um grupo permanece principalmente associado ao micélio bacterianos, enquanto o outro é secretado no caldo de fermentação (Venil; Zakaria; Ahmad, 2013). O aprimoramento de cepas microbianas para a produção em larga escala de produtos industriais tem sido o alicerce de os processos de importação utilizados comercialmente. Esse aprimoramento, resultante de alterações causadas por agentes mutagênicos comuns, como a radiação ultravioleta, o etilmetano sulfonato e a 1-metil-3-nitro-1-nitrosoguanidina, demonstrada ser uma abordagem eficaz para alcançar um aumento exponencial na produção de pigmentos ao longo do processo, conforme evidenciado em estudos anteriormente realizados (Guimarães, 2018).

3.3 MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE PIGMENTOS BACTERIANOS

Microrganismos podem ser cultivados por fermentação em estado sólido ou submerso, utilizando matéria-prima natural ou resíduos orgânicos industriais. Eles são ferramentas versáteis em biotecnologia, capazes de produzir diversas moléculas, incluindo enzimas, antibióticos, ácidos orgânicos e pigmentos. Estudos recentes destacam seu potencial como fonte de corantes naturais, com a presença de pigmentos relacionados a bactérias, fungos, leveduras, algas e protozoários em todo o mundo microbiano. Esses microrganismos são isolados, cultivados e purificados a partir de várias fontes ambientais, como corpos d'água, solo, plantas, insetos e animais (Tuli; Chaudhary; Beniwal *et al.*, 2015).

3.3.1 Produção de Pigmento através de Fermentação

O aprimoramento das técnicas de fermentação simplificou a produção e a separação de pigmentos coloridos de forma mais acessível. Esses pigmentos microbianos podem ser gerados tanto por fermentação em substrato sólido quanto por fermentação submersa (Tuli; Chaudhary; Beniwal *et al.*, 2015).

De acordo com Santos, Macedo, Silva *et al.* (2008), o termo fermentação em estado sólido (FES), ou fermentação semi-sólida, ou fermentação em meio semi-sólido aplica-se aos processos onde existe crescimento de microrganismos sobre ou dentro de partículas em matriz sólida, onde a quantidade de líquido apresenta um nível de atividade de água que possa garantir o crescimento e metabolismo dos microrganismos, mas não exceda à máxima capacidade de ligação da água com a matriz sólida. A fermentação em estado sólido apresenta diversas vantagens em relação à fermentação submersa, principalmente quando os agentes de transformação são fungos filamentosos. Uma delas é que as condições de cultivo são mais parecidas com o habitat natural dos fungos filamentosos, com isto os fungos estão mais adaptados para crescer e excretar maior quantidade de enzimas. A concentração dos produtos após extração é bem maior que os obtidos no processo de fermentação submersa e gera menos resíduo líquido. Este processo desperta maior interesse econômico em regiões com abundância em biomassa e resíduos agroindustriais, que representam material barato e abundante.

Por outro lado, de acordo com Junior (2012), os processos submersos são aqueles em que o micro-organismo, ou mesmo outras células, desenvolvem-se em meio de cultura com excesso de água sob agitação. As fermentações são conduzidas em biorreatores agitados e

aerados mecanicamente, com volumes que podem chegar a 1000 m³. A fermentação submersa é o processo mais utilizado na produção comercial de enzimas, pois junto ao desenvolvimento de novos equipamentos houve também o maior número de pesquisas e instrumentações para controle do processo, tornando-o mais acessível que a fermentação semissólida. Assim como, melhor facilidade de monitoramento. Dentre outras vantagens da fermentação submersa, frente à fermentação no estado sólido, são: facilidade de controle dos parâmetros físico-químicos, como controle de temperatura devido ao alto teor de água: melhor absorção de nutrientes e recuperação de metabólitos e ainda redução da possibilidade de degradação do produto, principalmente enzimas com baixa termo estabilidade.

No entanto, devido ao alto custo associado à utilização de meios sintéticos, existe a necessidade premente de desenvolver novos métodos de extração de baixo custo para a produção de pigmentos. Diversos pesquisadores têm se dedicado ao estudo da influência de vários parâmetros no processo de produção de pigmentos, incluindo a fonte de carbono, temperatura, pH e taxa de aeração. Como resposta ao custo elevado dos meios sintéticos, têm surgido novos processos mais econômicos e métodos de extração eficientes para bio-pigmentos. Um esforço notável está sendo direcionado para a utilização de resíduos orgânicos como matéria-prima na produção em larga escala de pigmentos microbianos. Alguns estudos têm se concentrado na produção de carotenoides a partir de resíduos como soro de leite, cascas de maçã e polpas trituradas. Essa abordagem não apenas reduz os custos de produção, mas também desempenha um papel significativo na gestão de resíduos, tornando-se uma estratégia ambientalmente amigável (Tuli; Chaudhary; Beniwal *et al.*, 2015).

3.3.2 Separação de Pigmentos bacterianos

A demanda por padrões de referência que definam a qualidade e a quantidade de pigmentos bacterianos tem crescido devido ao surgimento de novas áreas de pesquisa sobre as propriedades biológicas e farmacológicas desses organismos. O processo de recuperação e separação de pigmentos bacterianos é crucial para garantir a qualidade e a pureza dos pigmentos, que podem ser usados em uma variedade de aplicações industriais, como na indústria alimentícia, farmacêutica, de tinturaria e outras. No entanto, os desafios associados aos processos de separação e

purificação ainda representam obstáculos significativos para a produção em larga escala.

Os pigmentos produzidos por bactérias podem ser isolados por meio da extração com solvente e subsequentemente caracterizados por meio de diversas técnicas analíticas instrumentais. As bactérias geram dois tipos de pigmentos: aqueles que permanecem principalmente associados ao micélio bacteriano e aqueles que são liberados no caldo de fermentação. Enquanto os pigmentos da primeira categoria podem ser eficientemente recuperados pela quebra do micélio filtrado com acetona, os produtos secretados naturalmente são geralmente recuperados através da extração do caldo aquoso usando volumes substanciais de solventes orgânicos, como acetato de etila (Venil; Zakaria; Ahmad, 2013).

O método tradicional para separar e purificar pigmentos bacterianos envolve a extração com solventes orgânicos, tornando o processo longo e complexo. Requer grandes quantidades de solventes e resulta em baixo rendimento e pureza do produto. Em vez disso, tem sido adotada uma abordagem mais eficaz utilizando resinas de adsorção não iônicas, que podem absorver o pigmento diretamente do meio de cultura, eliminando a necessidade de separação celular e extração do pigmento. Isso reduz custos devido ao menor consumo de solventes e à reutilização das resinas. A recuperação total do pigmento usando esse método (83%) é significativamente melhor do que a extração convencional (50%). Além disso, a resina de adsorção (resina X-5) usada possui alta capacidade de carga e pode ser regenerada facilmente, permitindo a separação e purificação de pigmentos bacterianos em grande escala de maneira mais eficiente (Guimarães, 2018).

Ademais, para atender a preocupações ambientais e de saúde relacionadas ao uso de solventes, podem ser consideradas alternativas de separação, como a secagem por pulverização (amplamente utilizada na indústria de alimentos e rações) e a extração em fase sólida (comum na indústria de produtos químicos de alta pureza). Contudo, mesmo com essas alternativas são necessários avanços tecnológicos significativos para aprimorar a recuperação e a separação de pigmentos bacterianos, com o objetivo de tornar o processo mais eficiente em termos de energia e reduzir os custos associados (Venil; Zakaria; Ahmad, 2013).

4 SUSTENTABILIDADE E IMPACTO AMBIENTAL

A sustentabilidade é um tema de crescente importância atualmente. Diante dos desafios enfrentados pelo planeta Terra, a sustentabilidade continua a ser fundamental. Não é suficiente apenas termos produtos sustentáveis, é essencial que a sociedade adote um estilo de vida que repense seus padrões de vida e consumo. Desse modo, a sustentabilidade, a ecologia industrial, a ecoeficiência e a química verde estão orientando a evolução da próxima geração de materiais, produtos e processos. Cada vez mais, empresas e governos estão priorizando o desenvolvimento sustentável (Souza et al., 2021).

Entretanto, as indústrias de moda e têxtil operam em ciclos rápidos de tendências de moda, visando a produção constante de novas coleções para atender consumidores que, devido à alta conectividade e ao acesso a um grande volume de informações, frequentemente alteram seus hábitos e padrões de consumo. Isso resulta em uma redução no ciclo de vida dos produtos, com empresas sentindo a crescente necessidade de substituir seus itens em um ritmo acelerado (Souza et al., 2021). Além de empregar processos químicos e fontes naturais não renováveis prejudiciais ao meio ambiente, a pressão por uma produção acelerada de peças frequentemente desencadeia abusos e práticas antiéticas nos locais de trabalho. Enquanto as comunidades podem se beneficiar com a criação de empregos pela indústria, também enfrentam os impactos ambientais decorrentes da falta de fiscalização e da adoção de métodos inadequados, incluindo o descarte de resíduos químicos em corpo d'água usados para pesca, consumo, entre outras atividades praticada nesses locais (Guimarães, Ody; 2022).

Devido a esses motivos, a indústria tem feito investimentos significativos na produção de pigmentos naturais derivados de plantas. No entanto, pigmentos produzidos por plantas podem apresentar algumas limitações, como baixa estabilidade à luz e ao calor, além de não estarem disponíveis o ano todo. Todavia, sua biodegradabilidade tende a superar essas desvantagens (Carvalho, 2022). Portanto, está crescendo o interesse na produção de pigmentos microbianos. Eles representam uma promissora alternativa na indústria de pigmentos, oferecendo benefícios significativos em termo de sustentabilidade e redução do impacto ambiental. Comparado aos pigmentos sintéticos tradicionais, a produção de pigmento

derivado de microrganismos é caracterizada por um menor consumo de recursos naturais, água e energia. Além disso, a produção de pigmentos microbianos gera menos resíduos tóxicos e emissões prejudiciais ao meio ambiente, sua biodegradabilidade também é um ponto forte, garantindo que sejam menos prejudiciais quando descartados no ambiente. Ademais, à vantagem enquanto a redução da exploração de recursos naturais, já que a produção desses pigmentos pode diminuir a necessidade de extrair pigmentos de fontes naturais, preservando os ecossistemas.

À medida que os consumidores se tornam mais conscientes das questões ambientais, a demanda por produtos sustentáveis, incluindo pigmentos derivados de microrganismos, tende a aumentar, incentivando a indústria a adotar práticas mais ecológicas.

5 PERSPECTIVAS ECONOMICAS FUTURAS

A perspectiva econômica dos pigmentos derivados de microrganismos é bastante promissora. Porém, atualmente a produção desses pigmentos bacterianos é uma área emergente de pesquisa, a maior parte dessa produção ainda se encontra em fase de pesquisa e desenvolvimento. Portanto, é crucial intensificar os esforços direcionados aos pigmentos bacterianos, principalmente na busca por meios de crescimento acessíveis que possam reduzir os custos e ampliar sua utilidade na produção industrial (Venil, Zakaria, Ahmad; 2013).

De acordo com Guimarães (2018), o aumento da globalização, a reestruturação e a internacionalização tem sido elemento relevante para o aperfeiçoamento da indústria dos pigmentos ao longo dos últimos anos. A demanda global de pigmentos e corantes orgânicos deverá chegar a quase 10 milhões de toneladas até ao final deste ano. A indústria global de fabricação de tintas é dominada nos últimos 20 anos pelo Reino Unido, Suíça, Alemanha e por alguns fabricantes dispersos por todo o Mundo. A indústria têxtil irá continuar a ser a maior consumidora de pigmentos e corantes orgânicos, no entanto prevê-se um crescimento acelerado noutros setores industriais, como tintas de impressão, revestimentos e plásticos. Existe um impulso crescente, para a utilização de corantes naturais, devido ao carácter nocivo e uso proibido de alguns compostos sintéticos (proibição de corantes azo na Europa). O valor de mercado irá beneficiar, com o pensamento sustentável dos consumidores que, os incentiva à preferência de produtos ecológicos.

O futuro dos pigmentos derivados de microrganismos está caminhando em direção a uma maior visibilidade econômica. O desenvolvimento de estirpes bacterianas que utilizam substratos ecológicos e renováveis tem o potencial de tornar os pigmentos microbianos mais competitivos em termo de preço quando comparado aos pigmentos sintéticos, isso é crucial para impulsionar sua aceitação e adoção em larga escala nas indústrias. Descobrir e utilizar substratos mais acessíveis e econômicos para a produção de pigmentos é fundamental para reduzir os custos associados a esses processos, o custo de produção pode ser reduzido através do uso de: resíduos agrícolas como meio de crescimento para cultivo de bactérias, estirpes bacterianas selvagens (isolada localmente), técnicas de extração simples, uso de substratos mais acessíveis e renováveis, otimização dos processos de fermentação, implementação de técnicas de cultivo mais eficientes, desenvolvimento de cepas microbianas mais produtivas, etc. Essa evolução em direção a processos mais

acessíveis e competitivos do ponto de vista econômico pode impulsionar significativamente a aceitação e a utilização dos pigmentos derivados de microrganismos no mercado, abrindo portas para uma ampla gama de aplicações industriais e comerciais (Guimarães, 2018).

6 EXPERIMENTAL

6.1 MATERIAIS

- Tecidos utilizados: Algodão (100%) e seda (100%);
- Pigmento Bacteriano, Figura 7;
- Cloreto de sódio (sal);
- Ácido acético;
- Detergente;
- Esferas de aço.

Figura 7: Corante Bacteriano



Fonte: Arquivo próprio

6.2 EQUIPAMENTOS

- Balança de precisão;
- Proveta;
- Bastões;
- Chapa Aquecedora;
- Aparelho HT;
- Aparelho Crockmeter.

7 METODOLOGIA

7.1 TECIDOS UTILIZADOS

Os tecidos utilizados foram pesados e cortados com 5g, tanto o tecido de algodão quanto o de seda.

7.2 CORANTE UTILIZADO

O pigmento bacteriano utilizado foi a Violaceína, da Bactéria *Janthinobacterium lividum*, fornecido pela empresa AIPER. Figura 8.

Figura 8: Informações Sobre o Pigmento Utilizado

Informação de Produto

Violaceína

Item nº. 21001 | BIOVIO

Pigmento Cor: Violeta azulado
CAS: 548-54-9
Nome Formal: (3E)-3-[5-(5-Hydroxy-1H-indol-3-yl)-2-oxo-1,2-dihydro-3H-pyrrol-3-ylidene]-1,3-dihydro-2H-indol-2-one
Fórmula Molecular: C₂₀H₁₃N₃O₃
Peso Molecular: 343.342 g·mol⁻¹
Pureza: ≥ 90%
Estado: Sólido/Pastoso
Armazenamento: Refrigerado
Estabilidade: ≥ 2 anos
Origem: Bactéria *Janthinobacterium lividum*

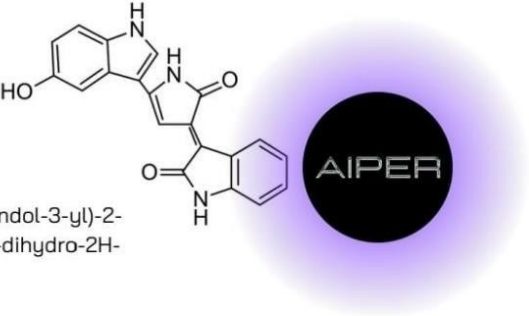
A informação representa as especificações do produto. Os resultados analíticos específicos do lote são fornecidos em cada certificado de análise.

Procedimentos de Manuseio

A violaceína é fornecida como um sólido. Uma solução estoque pode ser feita dissolvendo a violaceína no solvente de escolha, que deve ser purgado com um gás inerte. A violaceína é solúvel em DMSO.

Descrição

A violaceína é um metabólito bacteriano originalmente isolado de *C. violaceum* que possui atividade antibacteriana e antiprotozoária. É produzida por *Janthinobacterium lividum* como um pigmento roxo em resposta à N-hexanoil homoserina lactona. A violaceína de *J. lividum* é usada como corante para tecidos naturais e sintéticos. A violaceína é ativa contra bactérias Gram-positivas, incluindo *B. subtilis* e *S. aureus* (MICs = 0,8 e 1,6 µM, respectivamente). Também é ativo contra *P. falciparum*, incluindo cepas sensíveis e resistentes à cloroquina (IC50s = 0,85 e 0,63 µM, respectivamente). A violaceína permeabiliza a membrana citoplasmática das células bacterianas, mas não afeta a parede celular.



Referências

- Cauz, A.C.G., Carretero, G.P.B., Saraiva, G.K.V., et al. Violacein targets the cytoplasmic membrane of bacteria. *ACS Infect. Dis.* 5(4), 539-549 (2019).
- Lopes, S.C.P., Blanco, Y.C., Justo, G.Z., et al. Violacein extracted from *Chromobacterium violaceum* inhibits *Plasmodium* growth in vitro and in vivo. *Antimicrob. Agents Chemother.* 53(5), 2149-2152 (2009).
- Yuan Lu, Lijian Wang, Yuan Xue, Chong Zhang, Xin-Hui Xing, Kai Lou, Zhidong Zhang, Yong Li, Guifeng Zhang, Jingxiu Bi, Zhiguo Su. Production of violet pigment by a newly isolated psychrotrophic bacterium from a glacier in Xinjiang, China. *Biochemical Engineering Journal*, 43 (2), 135-141 (2009).
- Blosser, R.S. and Gray, K.M. Extraction of violacein from *Chromobacterium violaceum* provides a new quantitative bioassay for N-acyl homoserine lactone autoinducers. *J. Microbiol. Methods* 40(1), 47-55 (2000).

Entre em Contato:

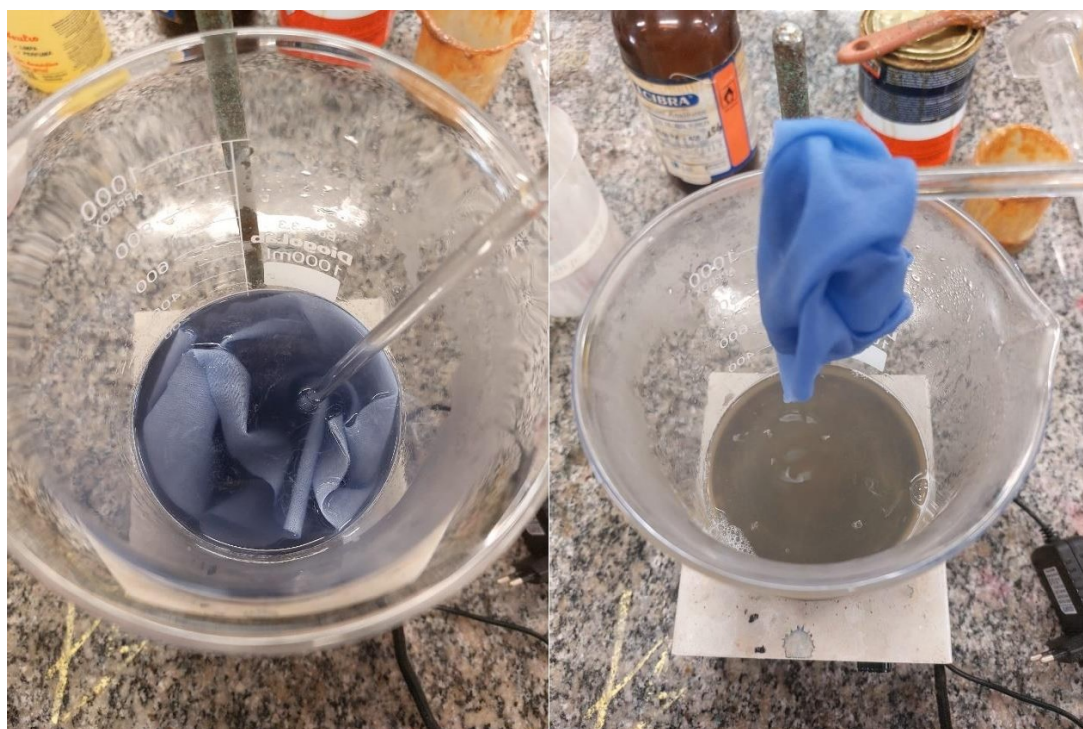
- +55 (11) 91662 1994
- www.aiper.com.br
- hello@aiper.com.br
- Rua Emília Zanetti de Almeida, 59
Desmembramento Furno, Mogi Guaçu-SP.

7.3 TINGIMENTO DOS TECIDOS

7.3.1 Tecido de Algodão

No experimento, foi realizado um procedimento de tingimento utilizando 5g de tecido 100% algodão em conjunto com 100ml de pigmento bacteriano e, em seguida, adicionou-se água para completar o volume total de 200ml. A mistura foi levada à fervura, e após 10 minutos, uma adição de 2g de cloreto de sódio (sal) foi incorporado ao processo, após a adição de sal, tingiu-se por mais 30min a ebulição. Figura 9.

Figura 9: Processo de tingimento do tecido de algodão



Fonte: Arquivo próprio

7.3.2 Tecido de Seda

No experimento, foi realizado um procedimento de tingimento utilizando 5g de tecido 100% seda em conjunto com 100ml de pigmento bacteriano e, em seguida, adicionou-se água para completar o volume total de 200ml. A mistura foi levada à fervura, e após 10 minutos, uma adição de 2ml de ácido acético foi incorporado ao processo, após a adição de ácido acético, tingiu-se por mais 30min a ebulição. Figura 10.

Figura 10: Processo de tingimento do tecido de seda



Fonte: Arquivo próprio

7.4 LAVAGEM DOS TECIDOS

Após o processo de tingimento, que teve duração de 40 minutos, os tecidos foram retirados da solução e lavados em água temperatura ambiente, para a remoção de pigmento que não foi absorvido. Após a lavagem os tecidos foram deixados secar naturalmente.

7.5 ENSAIO DE SOLIDEZ

No intuito de avaliar a solidez a lavagem do tingimento realizado com o pigmento bacteriano, adotou-se a norma ABNT NBR 10597 (Materiais têxteis - ensaio de solidez de cor a lavagem, método acelerado), um protocolo reconhecido para testar a transferência e a solidez do corante à lavagem. Para esse propósito, empregou-se uma solução composta por 40g de detergente diluído em 1 litro de água, sendo destinados 150ml dessa solução para cada amostra, junto a 10 esferas metálicas, durante o teste no aparelho HT, como mostrado na Figura 11, realizado por 45 minutos.

Figura 11: Aparelho HT



Fonte: Arquivo próprio

Para avaliar a resistência do tingimento em situação de fricção, foi empregado o aparelho Crockmeter, como mostrado na Figura 12, realizando-se dez voltas de fricção em cada processo, sendo eles, em amostras de tecidos secas quanto em amostras umedecidas.

Figura 12: Aparelho Crockmeter



Fonte: Arquivo próprio

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 TECIDO DE ALGODÃO

A figura 13 abaixo, exibe a coloração resultante do processo de tingimento realizado no tecido de 100% algodão utilizando o pigmento bacteriano. Ao comparar com o tecido de seda, observou-se que o tecido de algodão adquiriu cor de forma mais rápida e exibiu uma tonalidade mais vibrante.

Figura 13: Coloração obtida na amostra de algodão



Fonte: Arquivo próprio

8.2 TECIDO DE SEDA

Conforme a Figura 14 abaixo, é apresentada a coloração resultante do tingimento realizado com o pigmento bacteriano no tecido 100% seda. Comparativamente ao tecido de algodão, nota-se que a seda iniciou o esgotamento do banho de tingimento de maneira mais rápida, no entanto, sua tonalidade final ficou ligeiramente mais clara.

Figura 14: Coloração obtida na amostra de seda

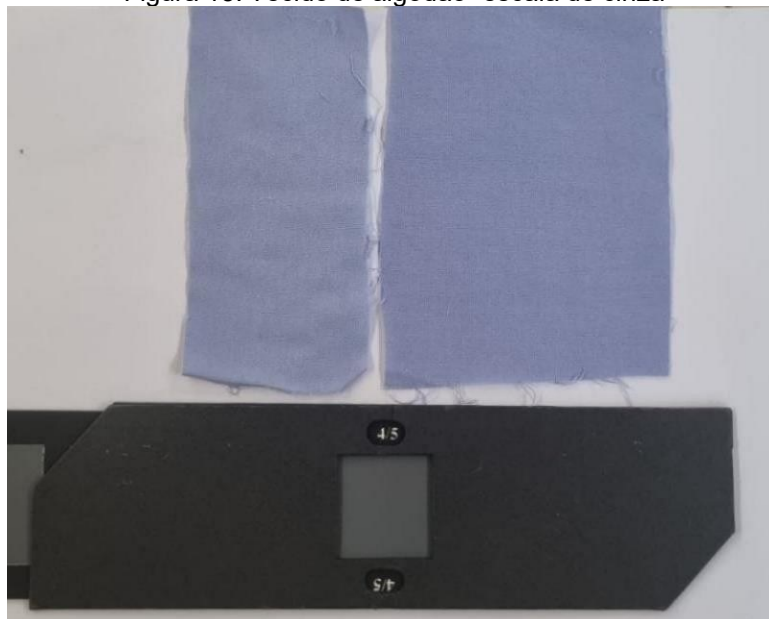


Fonte: Arquivo próprio

8.3 ENSAIO DE SOLIDEZ

8.3.1 Ensaio de Solidez a Lavagem

Figura 15: Tecido de algodão- escala de cinza



Fonte: Arquivo próprio

Figura 16: Tecido de seda- escala de cinza



Fonte: Arquivo próprio

Analisando as Figuras 15 e 16 exibidas acima, observa-se a solidez do tingimento após lavagens, em relação a alteração de cor. Conforme a escala de cinza, o tecido de algodão obteve índice 4/5, enquanto o tecido de seda alcançou índice 5, indicando a excelente retenção da cor em ambas as amostras após o processo de lavagem.

Nas amostras analisadas no ensaio de solidez a lavagem, em relação a transferência de cor, foi observado que não houve qualquer transferência para o tecido branco.

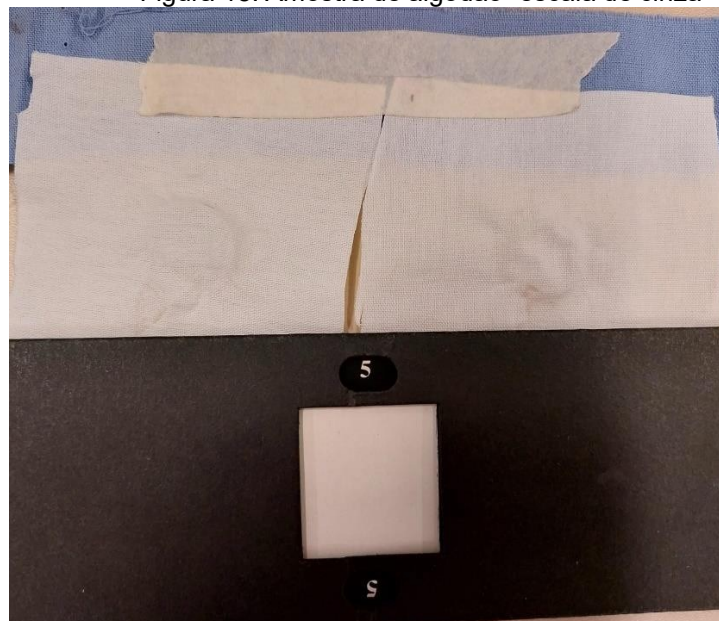
8.3.2 Ensaio de Solidez a Fricção

Figura 17: Amostra de algodão do Crockmeter



Fonte: Arquivo próprio

Figura 18: Amostra de algodão- escala de cinza



Fonte: Arquivo próprio

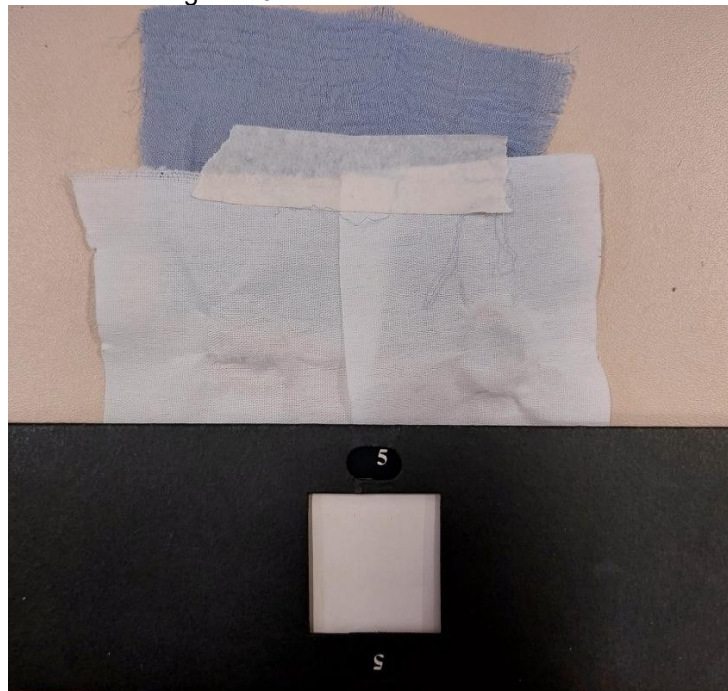
Analisando as Figuras 17 e 18 apresentadas acima, nota-se a solidez do tecido após o tingimento em situação de fricção. De acordo com a escala de cinza, o tecido de algodão obteve índice máximo, 5, demonstrando uma excelente resistência à fricção.

Figura 19: Amostra de seda do Crockmeter



Fonte: Arquivo próprio

Figura 20: Amostra de seda- escala de cinza



Fonte: Arquivo próprio

Ao analisar as Figuras 19 e 20 fornecidas acima, é evidente a solidez do tecido 100% seda após o processo de ficção. Segundo a escala de cinza utilizada, o tecido recebeu índice 5, o que indica uma resistência excepcional à fricção após o procedimento de tingimento.

9 CONCLUSÃO

As investigações práticas e experimentais conduzidas neste estudo, levaram a resultados ótimos.

Foi possível verificar através dos resultados dos experimentos de tingimento e através dos ensaios de solidez à lavagem e à fricção excelentes perspectivas para a aplicação dos bio- pigmentos. A capacidade de obtenção de núcleos vibrantes e a resistência demonstrada frente aos ensaios de lavagem e fricção são indicativos positivos do potencial desse pigmento.

A adoção de pigmentos naturais derivados de microrganismos apresenta-se como uma opção altamente atrativa, descrita por um impacto ambiental limitado, propriedades não tóxicas e uma base renovável e sustentável. Contudo, após análise abrangente do desenvolvimento realizado neste estudo, fica evidente que essa solução ainda requer certo refinamento. Soluções que possam equilibrar a eficiência, a sustentabilidade e as previsões econômicas são fundamentais para a transição bem-sucedida desses pigmentos de laboratório para a escala industrial.

Para futuras pesquisas e desenvolvimentos no campo, seria importante investigar métodos de produção de pigmentos mais eficientes em escala industrial e avaliar o impacto ambiental completo, desde a produção até o descarte dos produtos tingidos. Isso ajudaria a estabelecer uma compreensão abrangente do perfil de sustentabilidade dos bio- corantes em comparação aos pigmentos/corantes sintético

REFERÊNCIAS

ABEROUMAND, A. **A review article on edibel pigments properties and sources as natural biocolorants in doodstuff and food industry**. Word Journal of Dairy & Food Sciences, v. 6, p. 71-78, 2011.

ALIHOSSEINI, F., Ju, K. S., LANGO, J., HAMMOCK, B. D., & SUN, G. **Corantes Antibacterianos: Caracterização de Prodiginas e Suas Aplicações em Materiais Têxteis**. v. 24, n. 3, p. 742-747, 2008.

BRUMANO, Laissa Pereira; ÂNGELO, Fabíola Fonseca; DO AMARAL, Lílian Henriques; PINTO, Cláudia Lúcia Oliveira; DE ALMEIDA, Josete Amadeu; OLIVEIRA PINTO, Miriam Aparecida. **Estirpes Bacterianas-Padrão, Formas De Obtenção De Doação E Sua Manutenção Em Laboratórios De Ensino E Pesquisa**. v. 3, p. 21-26, 2011.

CARVALHO, Helena Sofia da Silva. **Eco-Printing e Eco-Dyeing: um contributo para o design de moda sustentável**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Design de Moda. Outubro de 2022.

CHATTOPADHYAY, Pritam; CHATTERJEE, Sandipan; SEN, Sukanta K. **Biotechnological potential of natural food grade biocolorants**. African Journal of Biotechnology, v. 7, n. 17, 2008.

DA COSTA, A.M. Amorim. **Mauveína, a cor que mudou o mundo!...** Boletim Química, 2007.

DA COSTA, Ana Rita de Sousa Vieira. **Tingimento de fibras têxteis com prodigiosina produzida por Serratia plymuthica**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Biotecnologia. Universidade da Beira Interior- Faculdade de Ciências. novembro de 2019.

DA SILVA, Wesley Santiago. **Produção de pigmentos fúngicos e seu uso no tingimento de tecidos**. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável. 2013.

FAHEINA JUNIOR, Genilton da Silva. **Produção de Celulases por Fermentação submersa Utilizando Micro-organismos Prospectados em Coleções de Culturas Nacionais**. Pós- Graduação em Engenharia Química. 2012.

FILHO, Duílio Battistoni. **Pequena História da Arte**. 187 p, 1989

GUIMARÃES, Joana Filipa da Silva Almeida Valadas. **Bio Fermented Colors - Pigmentos de Origem Bacteriana: Uma Alternativa Sustentável no Design de Moda e Têxtil**. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Design de Moda. 2018.

GUARATINI, Cláudia CI; ZANONI, Maria Valnice B. **Corantes têxteis**. Química Nova, v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.

JUDICE, Valéria Maria Martins; BAÊTA, Adelaide Maria Coelho. **Modelo empresarial, gestão de inovação e investimentos de venture capital em empresas de biotecnologia no Brasil**. Revista de Administração Contemporânea, v. 9, n. 1, p. 171-191, 2005.

KUNZ, A., Peralta-Zamora, P., DE MORAES, S. G., & DURÁN, N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Química Nova, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.

LIU, George Y.; NIZET, Victor. **Color me bad: microbial pigments as virulence factors**. Trends in microbiology, v. 17, n. 9, p. 406-413, 2009.

MALAJOVICH M. A. **Biotecnologia 2011**. Rio de Janeiro, Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2012.

MARTINS, Olímpia Paschoal. **Estudos da Elucidação Estrutural do Corante Verde Obtidos a partir do Microrganismos Streptomyces Carpaticus**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos. 2019.

NIGAM, Poonam Singh; LUKE, Jasmine Sharon. **Food additives: production of microbial pigments and their antioxidant Properties**. Current Opinion in Food Science, v. 07, p. 93-100, 2016, ISSN 2214-7993.

NAGENDRAPPA, Gopalpur. **Sir William Herry Perkin: O homem e seu "Mauve"**. Resonance, 2010.

PARMAR, Ramendra Singh; SINGH, Charu. **A comprehensive study of eco-friendly natural pigment and its applications**. Biochemistry and Biophysics Reports, p. 22-26, 2018.

SANTOS, Sharline Florentino de Melo; DE MACEDO, Gorete Ribeiro; DA SILVA, Flávio Luiz Honorato; DE SOUZA, Rosangela Liege Alves; PINTO, Gustavo Adolfo Saavedra. **Aplicação da metodologia de superfície de resposta no estudo da**

produção e extração da poligalacturonase. Quimica Nova, Vol. 31, No. 8, 1973-1978, 2008.

SARON, Clodoaldo; FELISBERTI, Maria Isabel. **Ação de colorantes na degradação e estabilização de polímeros.** Química Nova, v. 29, n. 1, p. 124, 2006.

SILVEIRA, J. M. F. J. D., BORGES, I. D. C., & BUAINAIN, A. M. **Biotecnologia e agricultura: da ciência e tecnologia aos impactos da inovação.** São Paulo em Perspectiva, 19(2), 101-114, 2005.

SINGH, Charu; RAMENDRA SINGH, Parmar. **Um estudo abrangente sobre pigmentos naturais ecológicos e suas aplicações.** Relatórios de Bioquímica e Biofísica. Volume 13, p. 22-26, março de 2018.

SOUZA, Teresa Campos Viana; RIBEIRO, Rira A.C; AYRES, Eliane; VIANA, Frederico Campos. **A sustentabilidade na indústria da moda e o ressurgimento dos corantes naturais: desafios e possibilidades no século XXI.** N. 32. maio /agosto 2021.E-ISSN 2358-0003.

TULI HS; CHAUDHARY, Prachi; BENIWAL, Vikas; SARMA AK. **Microbial pigments as natural color sources: current trends and future perspectives.** J Food Sci Technol. 2015.

VELOSO, Luana de Andrade. **Corantes e Pigmentos.** Dossiê técnico. Edição atualizada em junho de 2021.

VENIL, Chidambaram Kulandaisamy; ZAKARIA, Zainul Akmar; AHMAD, Wan Azlina. **Pigmentos Bacterianos e suas Aplicações.** Process Biochemistry, v. 48, Issue 7, p. 1065-1079, 2013, ISSN 1359-5113.

VIDYALAKSHMI, R., PARANTHAMAN, R., MURUGESH, S., & SINGARAVADIVEL, K. **Microbial bioconversion of rice broken to food grade pigments.** Global Journal of Biotechnology and Biochemistry, v. 4, p. 84-87, 2009.

VOLP, Ana Carolina Pinheiro; RENHE, Isis Rodrigues Toledo; STRINGUETA, Paulo César. **Pigmentos naturais bioativos.** Alimentos e Nutrição Araraquara, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2009.