

# **Relatório de Estágio Curricular A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, LDA**

Versão final após defesa

**Sara Miguel Cordeiro das Neves Santos**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Química Industrial**  
(2<sup>o</sup> ciclo de estudos ou mestrado integrado)

Orientador: Prof. Doutora Isabel Cristina Aguiar de Sousa e Silva Gouveia  
Orientador Interino: Eng<sup>a</sup> Susana Antunes

**Agosto de 2024**



## **Declaração de Integridade**

Eu, Sara Miguel Cordeiro das Neves Santos, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição 12027 de/o Química Industrial da Faculdade de Ciências, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 02 /08 /2024

(assinatura conforme Cartão de Cidadão ou preferencialmente  
assinatura digital no documento original se naquele mesmo formato)



## Agradecimentos

Ao concluir esta etapa tão significativa do meu percurso académico, não posso deixar de agradecer a todas as pessoas que foram essenciais no meu desenvolvimento e que contribuíram para que esta jornada.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Professora Doutora Isabel Cristina Aguiar de Sousa e Silva Gouveia, e à Eng<sup>a</sup> Susana Antunes, orientadora no local de estágio, cuja paciência, ajuda e dedicação foram essenciais para o meu desenvolvimento e aprendizagem, ao longo deste estágio.

Um agradecimento especial à A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, LDA, em particular à Eng<sup>a</sup> Isabel Costa, que me proporcionou esta experiência profissional tão enriquecedora. Estendo também os meus sinceros agradecimentos a todos os colaboradores, por me acolherem tão bem e permitirem que me sentisse parte da sua equipa. Ao Sr. Rui, à Eng<sup>a</sup> Susana e à Eng<sup>a</sup> Adosinda, um grande obrigada, por partilharem o vosso conhecimento e me proporcionarem momentos bem passados.

Aos meus pais, avós e irmão, por todo o amor e apoio incondicional, sem eles não seria possível concluir esta etapa. Por me ajudarem, por serem o meu porto de abrigo, por todo o incentivo, principalmente nos momentos mais difíceis. São, sem dúvida, a minha grande força!

À Luana e à Margarida, que me apoiaram e que estiveram sempre presentes em todas as minhas etapas. Proporcionaram-me inúmeras aventuras e estes anos não teriam sido a mesma coisa sem elas, foram casa longe de casa.

A todos os meus amigos, em especial, à Vanessa, Maria, Lara, Matilde e ao Pereira, por toda a força, ânimo, apoio e amizade.

Uma palavra de carinho para as minhas afilhadas, Francisca, Ana, Leonor e Daniela, que me proporcionaram tantos bons momentos de partilha, alegria e amizade. Levo comigo um pedacinho de cada uma.

Por fim, o meu sincero obrigada a todos os que, direta ou indiretamente, fizeram parte desta jornada e que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.



## Resumo

A Indústria Têxtil e do Vestuário (ITV) distingue-se por ser um setor de elevada relevância na economia mundial. Ao longo das décadas, esta indústria tem evoluído significativamente, impulsionada por inovações tecnológicas e mudanças nas tendências de consumo. A realização do estágio curricular na empresa A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, Lda, permitiu uma análise e compreensão mais aprofundada dos setores abrangidos pela empresa, em particular sobre o funcionamento de um laboratório de tinturaria e das tarefas associadas.

Ao longo do tempo, a tinturaria passou por uma notável evolução, sempre aliada à ciência, tecnologia e exigências do mercado. O marco que revolucionou a tinturaria foi a síntese do primeiro corante sintético, que possibilitou, mais tarde, o desenvolvimento de uma vasta gama de cores. A transição para os corantes sintéticos, assim como a criação de novos substratos, através de fibras não naturais, permitindo o desenvolvimento de novas técnicas de tingimento.

A sustentabilidade tornou-se uma prioridade na indústria têxtil, tendo em conta que este setor é bastante conhecido pelo seu elevado consumo de água, produção de efluentes poluentes e emissão de gases. Face a estes problemas e à crescente consciencialização sobre o meio ambiente, estão a surgir inovações promissoras para reduzir o impacto do tingimento, como processos de tingimento com pouca ou sem água. Os corantes naturais também voltaram a ter destaque, à escala global, como alternativa sustentável aos sintéticos.

O trabalho desenvolvido, ao longo de seis meses, teve como foco o desenvolvimento de novas cores, melhoria na reprodutibilidade laboratório-produção, através da realização de inúmeros ensaios de tingimento, com o objetivo de otimizar os processos tintoriais. Neste período, foram realizados dois projetos experimentais. O primeiro incidiu na utilização de água de rosas como corante natural, de modo a investigar as suas propriedades enquanto corante e a sua aplicabilidade. O segundo envolveu a aplicação de corantes naturais, já comercializados, com o objetivo de analisar os diversos comportamentos em diferentes condições de tingimento.

## **Palavras-chave**

ITV; Tingimento natural; Corantes naturais; Sustentabilidade

## Abstract

The Textile and Clothing Industry (TCI) stands out as a sector of high significance in the global economy. Over the decades, this industry has evolved considerably, driven by technological innovations and changes in consumer trends. The completion of the curricular internship at A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, Lda, allowed for a deeper analysis and understanding of the sectors encompassed by the company, particularly regarding the operation of a dyeing laboratory and the associated tasks.

Over time, dyeing has undergone remarkable evolution, always linked to science, technology, and market demands. The milestone that revolutionised dyeing was the synthesis of the first synthetic dye, which later enabled the development of a wide range of colours. The transition to synthetic dyes, as well as the creation of new substrates through non-natural fibres, allowed for the development of new dyeing techniques.

Sustainability has become a priority in the textile industry, given that this sector is well known for its high-water consumption, production of polluting effluents, and emission of gases. In response to these issues and the growing environmental awareness, promising innovations are emerging to reduce the impact of dyeing, such as low or waterless dyeing processes. Natural dyes have also regained prominence globally as a sustainable alternative to synthetics. [2 linhas de intervalo]

The work carried out over six months focused on the development of new colours and the improvement of laboratory-to-production reproducibility through numerous dyeing tests, with the aim of optimising dyeing processes. During this period, two experimental projects were conducted. The first project centred on the use of rose water as a natural dye, investigating its properties as a dye and its applicability. The second project involved the application of commercially available natural dyes, with the objective of analysing their various behaviours under different dyeing conditions.

## Keywords

TCI; Natural dyeing; Natural dyes; Sustainability



# Índice

1.	Introdução .....	1
1.1	Motivação para o estágio .....	1
1.2	Objetivos do estágio.....	1
1.3	Estrutura do relatório de estágio.....	1
2.	Apresentação e caracterização da empresa .....	3
2.1	A Empresa – A Transformadora .....	3
2.2	Fornecedores e Clientes.....	3
2.3	Produtos transformados.....	4
2.4	Processo Produtivo .....	4
2.4.1	Receção/ Armazém matéria-prima.....	5
2.4.2	Secção de Tinturaria.....	5
2.4.3	Secção de Acabamentos .....	6
3.	Revisão da Literatura .....	7
3.1	Indústria Têxtil e do Vestuário (ITV) .....	7
3.1.1	Relevância Económica da Indústria Têxtil e do Vestuário .....	7
3.1.1.1	Os Têxteis e Vestuário: Contexto Internacional .....	7
3.1.1.2	Os Têxteis e Vestuário em Portugal .....	7
3.1.2	Impacto Ambiental da Indústria Têxtil e do Vestuário .....	8
3.2	Tinturaria.....	12
3.2.1	Fibras.....	12
3.2.1.1	Fibras Naturais.....	13
3.2.1.2	Fibras Não Naturais .....	16
3.2.2	Corantes têxteis .....	20
3.2.3	Produtos Auxiliares.....	23
3.2.3.1	Mordentes .....	24
3.2.4	Tingimento .....	25
3.3	Sustentabilidade .....	27
3.3.1	Corantes naturais .....	28
4.	a Trabalho experimental.....	30

4.1	Laboratório de Tinturaria .....	30
4.1.1	Equipamento utilizado.....	30
4.2.1	Água de rosas .....	36
4.2.2	Corantes Naturais .....	40
5.	Conclusões e perspectivas futuras .....	44
5.1	Conclusões .....	44
5.2	Perspetivas futuras .....	44



## Lista de Figuras

Figura 1. Fluxograma de produção d'A Transformadora.....	5
Figura 2. Classificação das fibras têxteis. Adaptado de [23]. .....	13
Figura 3. Fórmula geral de um aminoácido [36]. .....	14
Figura 4. Forças intra e intermoleculares presentes na lã [26]. .....	15
Figura 5. Estrutura química do poliéster [23]. .....	17
Figura 6. Etapas realizadas na tinturaria. ....	30
Figura 7. Gráfico de tingimento para 100% lã. ....	33
Figura 8. Gráfico de tingimento para Lã/PL. ....	35
Figura 9. Gráfico de tingimento para Lã/PL a 105°C. ....	35
Figura 10. Gráfico das condições de tingimento com água de rosas. ....	37
Figura 11 Resultados do tingimento com água de rosas. Legenda: A – controlo; B – pré – mordentagem; C – mordentagem simultânea; D – pós – mordentagem;.....	37
Figura 12. Resultados do tingimento com água de rosas .....	39
Figura 13. Resultados de teste de solidez à lavagem. ....	40
Figura 14. Gráfico de tingimento corantes naturais. ....	41
Figura 16 Resultado do corante "amarelo" .....	42
Figura 15 Resultado do corante "cinzento" .....	42



## Lista de Tabelas

Tabela 1. Ciclo de vida dos têxteis e impactos ambientais. ....	9
Tabela 2. Classificação de corantes de acordo com a sua aplicação .....	23
Tabela 3. Produtos auxiliares e respectivas funções.....	24
Tabela 4. Amostras e respectivas condições .....	36
Tabela 5. Condições de preparação dos banhos de tingimento das multifibras .....	38
Tabela 6. Condições de preparação dos banho de tingimento.....	41



## Lista de Acrónimos

AATCC	American Association of Textile Chemist and Colourists
AICEP	Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal
CI	<i>Colour Index</i>
GEE	Gases Efeito Estufa
GFA	<i>Global Fashion Agenda</i>
ITV	Indústria Têxtil e Vestuário
PET	Politereftalato de etileno
SDC	<i>Society of Dyers and Colourists</i>
UE	União Europeia
UNEP	Programa das Nações Unidas para o Ambiente





# **1. Introdução**

O presente Relatório de Estágio descreve o trabalho desenvolvido durante o estágio realizado na empresa A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, LDA, e serve de base para a discussão da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio, de forma a obter o grau de Mestre em Química Industrial na Universidade da Beira Interior. A Transformadora é uma empresa têxtil que faz o acabamento e tingimento de todo o tipo de tecidos. O estágio decorreu entre os meses outubro de 2022 e abril de 2023.

## **1.1 Motivação para o estágio**

A indústria têxtil e vestuário (ITV), em Portugal, é umas das mais antigas e representa um setor económico bastante importante, correspondendo a cerca de 10% do total de exportações, 20% do emprego da indústria transformadora e 9% do volume de negócios da indústria transformadora. A realização de um estágio curricular nesta indústria representa uma oportunidade para desenvolver conhecimento sobre esta indústria e possibilitar a interação com clientes e fornecedores num contexto real.

## **1.2 Objetivos do estágio**

Os objetivos principais do estágio foram a análise e compreensão dos setores da indústria têxtil abrangidos pela empresa e, de uma maneira mais aprofundada, adquirir experiência sobre o funcionamento de um laboratório de tinturaria e realizar tarefas associadas ao tingimento têxtil.

## **1.3 Estrutura do relatório de estágio**

O presente relatório de estágio encontra-se dividido em cinco capítulos, que também se dividem em subcapítulos.

Este primeiro capítulo corresponde ao enquadramento geral do tema do relatório de estágio, que aborda a motivação para a sua realização, os principais objetivos, assim como apresenta a estrutura do documento.

No segundo capítulo é feita a apresentação e caracterização da empresa onde se realizou o estágio. Aqui são referidos os produtos fabricados, os principais tipos de clientes e os processos produtivos.

O terceiro capítulo refere-se ao enquadramento teórico, em que são expostos todos os conceitos fundamentais necessários para a compreensão deste relatório, tais como a

contextualização da indústria têxtil, tanto em Portugal como na União Europeia, e as suas questões ambientais. Como o estágio foi passado, maioritariamente, no laboratório de tinturaria, é crucial esclarecer o que é a tinturaria, todos os seus intervenientes e os processos correspondentes. As questões ambientais também são referidas ao longo do presente documento, pois é uma vertente muito importante tendo em conta o trabalho realizado.

O quarto capítulo descreve e reflete todo o trabalho feito na empresa, assim como a metodologia utilizada e os processos correspondentes. Também surgiram alguns projetos, ao longo do tempo, tanto a nível individual como de grupo e, por isso, estes irão ser descritos, acompanhados das mais valias que poderão trazer a longo prazo para a empresa.

Por fim, o último capítulo trata das conclusões e das perspetivas de trabalho futuro, tanto a nível pessoal como da empresa.

## **2. Apresentação e caracterização da empresa**

Este presente capítulo prende-se com a apresentação e caracterização da empresa A Transformadora – Pisão Novo, LDA, onde foi realizado o estágio, no período de seis meses. Para o efeito, é apresentada a localização da empresa e realçam-se alguns dos marcos e desenvolvimentos da sua história, a sua missão, visão e principais valores.

Os clientes principais também serão referidos, bem como o mercado onde atua. O processo de tingimento e de acabamento serão descritos, de acordo com a informação disponibilizada pela página da empresa e de alguns documentos fornecidos pela mesma.

### **2.1 A Empresa – A Transformadora**

A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, LDA é uma empresa localizada na Covilhã, cidade conhecida como a “Cidade construída em Lã”, e é considerada como uma das empresas mais emblemáticas de transformação de lã. Em 2021 foi adquirida pela Burel Factory, o que permitiu renovar a sua visão de futuro para a indústria da lã, como empresa têxtil de referência em acabamento e tingimento laneiro.

A principal missão assenta no compromisso com a qualidade dos serviços de acabamento e tingimento, preço, prazo de entrega e rigor de cada pedido, promovendo boas práticas de sustentabilidade e responsabilidade.

### **2.2 Fornecedores e Clientes**

Com o objetivo de garantir uma resposta rápida e eficaz às necessidades do mercado, esta empresa certifica-se que existe uma relação profissional e de benefício mútuo para com os seus clientes e fornecedores, sempre com o propósito de assegurar a qualidade dos produtos fornecidos. Por isso, os seus principais clientes coincidem com os fornecedores de matéria-prima, sendo a principal a Burel Factory. A Transformadora também se dedica à exportação de matérias têxteis para Espanha. No entanto, o seu desenvolvimento contínuo permite-lhe chegar, cada vez mais, a outros clientes internacionais.

## **2.3 Produtos transformados**

A Transformadora faz o acabamento e o tingimento de todo o tipo de tecidos, tanto de artigos penteados muito leves (200 g/m) até tecidos cardados muito pesados (1400 g/m), garantindo sempre a qualidade exigida tanto em termos de toque como de aspeto, confeccionabilidade e comportamento face à aplicação pretendida.

Esta empresa trabalha tecidos com ou sem elastano, com acabamento rapado (superfície lisa e grande nitidez da estrutura) e acabamentos com pelo, típicos dos tecidos cardados, em que é conferido aos artigos um aspeto muito compacto e uma superfície com pelo curto ou longo, conforme o acabamento pretendido.

A fábrica finaliza todo o tipo de tecidos de lã e respetivas misturas, sendo uma das maiores apostas desta empresa a inovação a curto prazo, recorrendo a um parque de máquinas atualizado, incorporando métodos tradicionais.

As medidas adotadas assentam na reutilização de uma elevada percentagem de águas utilizadas nos diversos processos; redução, reciclagem e reaproveitamento dos resíduos industriais; redução de emissões gasosas para o meio ambiente e sistemas de painéis solares fotovoltaicos para o aquecimento de águas, consumindo energia limpa nos processos de acabamento e tingimento.

## **2.4 Processo Produtivo**

A Transformadora dispõe da secção de tinturaria e outra secção de acabamentos de tecidos, como irão ser descritos mais abaixo. De acordo com a especificidade da matéria-prima recebida, o procedimento é distinto, tendo também em conta o objetivo final do produto. Deste modo, como se poderá verificar na Figura 1, o fio e a rama é somente trabalhado na tinturaria, enquanto o tecido pode ter dois tipos de tratamento: a sua preparação para a tinturaria ou ser exclusivamente tratado na cor.

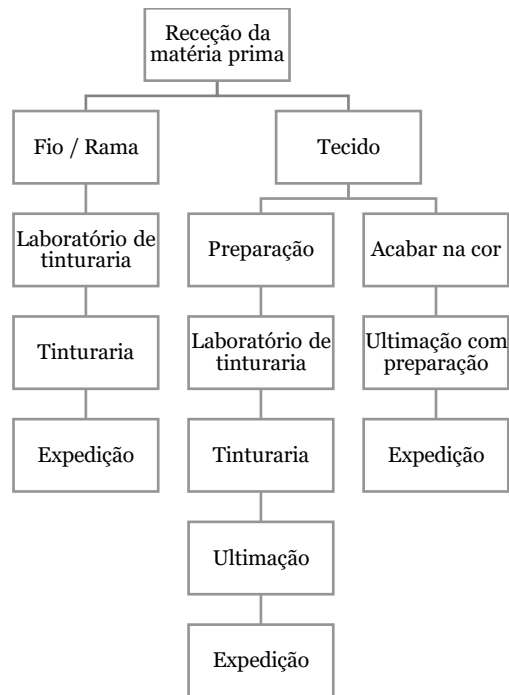


Figura 1. Fluxograma de produção d'A Transformadora

#### 2.4.1 Receção/ Armazém matéria-prima

No armazém são recebidas e armazenadas as matérias-primas, em cru, fornecidas pelo cliente. Quando estas são descarregadas é necessário fazer uma inspeção e controlo ao material, pesando e verificando se as especificações, previamente fornecidas, correspondem à matéria entregue. Além disso, é verificado se outras propriedades vão ao encontro aos requisitos do cliente.

De seguida, é feito o registo da entrada das peças, sendo, posteriormente, necessário gerar uma guia interna. Esta acompanha as peças em todo o processo produtivo, com o intuito de auxiliar os operadores a distinguir e a respeitar sempre os seus requisitos.

#### 2.4.2 Secção de Tinturaria

A tinturaria processa todo o tipo de fibras, principalmente matérias de lã e suas misturas. O tingimento pode ser efetuado em rama, fio (bobina cruzada) e tecidos em corda. As máquinas são seleccionadas consoante o tipo de artigo que se pretende tingir e estão todas automatizadas no processo que controla as diversas etapas do tingimento/ tratamentos especiais.

A Transformadora possui um laboratório de tinturaria onde se efetua o estudo e formulação de cores, seleções de produtos auxiliares/corantes, com Caixa de Luzes (Verivide), máquinas de tingimento de LAB-DIPs e amostras de apoio à produção, usando os mesmos processos de tingimento que são utilizados na secção produtiva.

Da seleção de produtos químicos e corantes à formulação de cores e controle de qualidade, A Transformadora produz tingimentos de elevado desempenho, que satisfazem as necessidades dos clientes e são aprovados nos exigentes testes de qualidade.

Na tinturaria industrial, dispõem de diversas máquinas, tais como autoclaves (5 a 200 kg), JETs (1 a 10 peças – 10 a 150 kg), barcas (1 a 4 peças – 20 a 100 kg), secador de alta frequência (secagem de fios) e estufa (secagem de rama e fios).

### 2.4.3 Secção de Acabamentos

O acabamento tem uma influência decisiva sobre os tecidos, especialmente nos de lã, para desenvolver a qualidade intrínseca dos melhores materiais ou para melhorar e valorizar ao máximo as carências daqueles com insuficientes características fundamentais. O acabamento resulta na qualidade do toque, do aspeto e das exigências técnicas durante o uso.

Esta empresa oferece dois tipos de acabamentos, os húmidos e os secos. Os húmidos, tal como o nome indica, exigem a presença de água e a empresa possui um parque de máquinas abrangente que permite desenvolver, nos tecidos, as características fundamentais. Abrangem batanos simples e duplos, lavadeiras em corda, lavadeiras/ batano, *crabing* em contínuo, carbonização, râmula (secagem e termofixação), gaseadeira e percha em húmido. Dos acabamentos secos destacam-se o vaporizador em contínuo e o KD, que conferem ao tecido o acabamento pretendido ao nível do toque, brilho, estabilidade dimensional, entre outros.

Ainda existem os acabamentos especiais que abrangem uma grande variedade de tipos de acabamento, que permite obter efeitos de superfície distintos ou propriedades específicas que melhoram a funcionalidade dos tecidos, tais como, hidrorrepelentes, repelente ao óleo, anti-fogo, anti-traça, anti-feltrante, entre outros.

### **3. Revisão da Literatura**

Este capítulo apresenta uma revisão de conceitos teóricos, necessários para a realização do presente relatório, com o objetivo de contextualizar os principais conceitos. Deste modo, ao longo deste capítulo vão ser abordados os conceitos de indústria têxtil, tinturaria, fibras têxteis, corantes e tinturaria sustentável.

#### **3.1 Indústria Têxtil e do Vestuário (ITV)**

A indústria têxtil é um setor industrial de elevada relevância na economia mundial, proporcionando emprego em várias áreas e setores [1].

##### **3.1.1 Relevância Económica da Indústria Têxtil e do Vestuário**

###### **3.1.1.1 Os Têxteis e Vestuário: Contexto Internacional**

Segundo a Agência para o Investimento e Comércio Externo de Portugal (AICEP), até final de 2019, a Indústria Têxtil e Vestuário (ITV) esteve em constante evolução tecnológica [2].

Os têxteis e o vestuário representam um setor muito variado e desempenham um papel importante na economia de muitas regiões da Europa e na respetiva indústria transformadora. Contudo, existem certos desafios que podem influenciar a indústria internacional, tais como, a concorrência, o aumento dos custos de produção, entre outras [3].

De modo a ultrapassar estes desafios, as empresas precisam de estar sempre preparadas para a mudança e para se reinventarem, adaptando-se ao mercado e às exigências dos consumidores, sendo um exemplo recente o que aconteceu durante a última pandemia. Com todas as restrições associadas, a diminuição abrupta da procura de bens, o encerramento de produção e exportação de matérias-primas, houve muitas empresas que redirecionaram a sua produção para o fabrico de equipamentos de proteção individual, não só para responder às necessidades do país, como também para exportar para países com défice destes equipamentos. Esta tornou-se uma oportunidade para o setor têxtil e de vestuário contornar esta crise e, posteriormente, crescer [3 - 5].

###### **3.1.1.2 Os Têxteis e Vestuário em Portugal**

Em Portugal, a Indústria Têxtil e Vestuário é uma das mais antigas, prevalecendo um setor muito importante para a economia nacional [3].

A produção têxtil teve origem no final do século XVIII. A partir da segunda metade do século XIX deu-se a industrialização, com a formação de muitas unidades de fiação, tecelagem, tinturaria, acabamentos, entre outros. No entanto, a ITV portuguesa desenvolveu-se a partir dos anos 70, devido a baixo custo de mão-de-obra e proximidade geográfica e cultural comparativamente com outros países da Europa, sendo estes fatores cruciais para as empresas estrangeiras escolherem Portugal para estabelecerem a sua produção [3].

Posteriormente, de forma a combater a crise de 2008, a indústria nacional empreendeu novos rumos para a criação de valor acrescido nas aplicações do têxtil e vestuário, o que originou um aumento significativo de exportações em 2008. A partir de 2010, houve uma forte recuperação da atividade industrial, com base em diversos fatores, nomeadamente, a inovação tecnológica, o design, a qualidade, a rapidez e serviços de elevado valor acrescentado. Desde 2015, o emprego tem vindo a aumentar e representa 20% do emprego da indústria transformadora [3, 6, 7].

A ITV é um dos setores mais relevantes da economia portuguesa, e é composta por microempresas (61,45%), pequenas e médias empresas (37,92%) e grandes empresas (0,63%), localizadas, maioritariamente, no norte do país (Braga, Guimarães, Famalicão) mas também na Covilhã, estas últimas dedicadas a produtos de lã. Esta indústria gera um volume de negócios correspondente a 7,6 mil milhões de euros e representa 10 % do total das exportações nacionais e 8% do volume de negócios da indústria transformadora [6 - 8].

### 3.1.2 Impacto Ambiental da Indústria Têxtil e do Vestuário

Na atualidade, o consumo de têxteis na União Europeia (UE) ocupa o quarto lugar na contribuição de impactos negativos no ambiente e nas alterações climáticas e terceiro lugar no que diz respeito a utilização de água e do solo. Além disto, todos os anos, são descartados, em média, 5,8 milhões de toneladas de têxteis, o que corresponde a 11 kg por pessoa. De modo a avaliar o alcance dos impactos ambientais dos têxteis é necessário analisar todo o seu percurso, desde a produção até ao final de vida, conforme se pode verificar na Tabela 1 [9, 10].

Tabela 1. Ciclo de vida dos têxteis e impactos ambientais. Adaptado de [9].

<b>Recursos e capitais naturais</b>	<b>Etapas do processo</b>	<b>Impactos ambientais</b>
Terras agrícolas; água; biodiversidade; energia; produtos químicos (fertilizantes, pesticidas)	Produção de fibras	Degradação dos solos; desflorestação; emissões de gases efeito estufa; perda de biodiversidade
Água, energia, químicos (corantes, produtos de acabamento)	Produção de produtos têxteis	Emissões de gases com efeito estufa; Libertação de microplásticos; Desperdício da produção
Energia	Distribuição e venda	Emissões de gases com efeito estufa; Desperdício têxtil por falta de escoamento comercial
Água, energia, químicos (detergentes)	Uso de têxteis	Emissões de gases com efeito estufa, fosfatos, químicos e microfibras; Resíduos têxtil
Energia, químicos	Recolha, triagem e reciclagem	Emissões de gases com efeito estufa; Substâncias tóxicas poluentes do ar e água
Solos, energia	Gestão de resíduos	Emissões de gases com efeito estufa; substâncias tóxicas poluentes do ar e água

- Produção de fibras e de produtos têxteis

A etapa de produção de matéria-prima e de produtos têxteis é responsável por grande parte dos impactos ambientais. Para avaliar as consequências negativas no meio ambiente é necessário diferenciar as fibras naturais das sintéticas, pois vão influenciar de maneira diferente.

As fibras naturais englobam todas as fibras que provêm da natureza, seja animal, vegetal ou mineral. Em todo o processo de extração e tratamento há impactos consideráveis no ambiente. No caso do algodão e do linho, ambos de origem vegetal, são responsáveis pelo impacto associado ao cultivo de fibras, como a extração de água, o uso de fertilizantes e de pesticidas nos solos e, conseqüentemente, a degradação dos solos. Na produção de algodão, ainda existe o problema do excessivo consumo de água, que dá origem a uma pegada hídrica de 10000 L / kg de material. Como exemplo, para fabricar apenas uma t-shirt de algodão são necessários 2700 litros de água doce, a quantidade que uma pessoa bebe em dois anos e meios. Na produção de lã também há emissão de gases com efeito estufa (GEE), contaminação do solo, através do uso de pesticidas, e após a tosquia, a lã necessita de ser lavada e são utilizados vários detergentes, o que contribui para a contaminação da água [9 - 11].

No processo de produção de têxteis com base em fibras naturais, o algodão volta a ser o mais prejudicial para o ambiente, pois necessita de elevadas quantidades e variedade de produtos químicos. De modo a produzir um 1 kg de t-shirts de algodão são necessários cerca

de 3 kg de produtos químicos. Por outro lado, a fibra que tem menos impacto ambiental é a seda [9].

As fibras sintéticas, como o poliéster e a poliamida, apresentam diversos problemas ambientais, tanto na sua produção como no acabamento. Como estas fibras são termoplásticas, ao produzi-las é necessário recorrer a combustíveis fósseis e utiliza-se muita energia, que é dos principais fatores para as alterações climáticas. Apesar de o poliéster não necessitar de tanta água ao ser lavado, como o algodão, apresenta um dos maiores problemas, que é a contaminação da água por microplásticos. Esta é uma preocupação crescente, tanto a nível ambiental como de saúde. Estima-se que cerca de meio milhão de toneladas de microfibras de plásticos foram libertadas, anualmente, durante a lavagem de têxteis, compostos maioritariamente por plásticos, como poliéster, nylon ou acrílico [9, 10].

- Distribuição e venda

A maioria das matérias-primas e dos produtos finalizados são importados para a EU, o que implica longos trajetos para entrega. Contudo, esta fase apenas contribui com 2% nos impactos para as alterações climáticas, uma vez que a maior parte dos distribuidores otimizaram o fluxo de mercadoria. No entanto, esta etapa também é caracterizada pela formação de resíduos através de embalagens, etiquetas, cabides e sacos, assim como pela indústria da moda em si, pois existe uma grande percentagem de produtos que não chegam aos consumidores e, por não serem vendidos, acabam por ser descartados [11].

- Uso de têxteis

Esta é a fase que tem maior pegada ecológica no ciclo de vida dos têxteis, devido à água, energia e produtos químicos (principalmente detergentes) utilizados na lavagem, secagem e na passagem a ferro, assim como os microplásticos que são libertados na água. Uma das formas mais eficazes para reduzir o impacto ambiental é tentar que os consumidores façam algumas alterações no seu comportamento, tais como reduzir a temperatura de lavagem, lavar o máximo de roupa numa só vez, evitar secar na máquina, comprar fibras ecológicas e doar roupas quando já não são utilizadas [11].

Um outro problema associado a esta etapa é a chamada “*Fast Fashion*”. Atualmente, os clientes compram mais roupa do que vão usar e deitam fora vestuário após sete a dez utilizações. Isto acontece porque o atual sistema tem como base a produção em massa, apresentando sempre novas coleções, a baixo custo, mas também de baixa qualidade. Aumentar a variedade de vestuário disponível leva a um aumento de consumo, de modo a seguir as tendências. Contudo, seria preferível aumentar a qualidade dos tecidos para aumentar o seu tempo de vida [10, 11].

- Recolha, triagem, reciclagem e gestão de resíduos

As roupas usadas recolhidas e podem ser reutilizadas ou recicladas. Todavia existem problemas em ambos os caminhos. Na questão da reutilização da roupa, a oferta excede a procura do vestuário em segunda mão e, por isso, grande parte é exportada para países da Ásia Ocidental ou de África, dando origem ao declínio das empresas têxteis locais, pois os países não têm capacidade para tratar tantos resíduos [11].

A reciclagem de têxteis também apresenta uma série de problemas, pois menos de 1% de todos os materiais utilizados é reciclado, o que representa uma perda de mais de 100 mil milhões de dólares de materiais, por ano. Isto deve-se à falta de tecnologias na triagem do vestuário recolhido, na separação das diferentes fibras e na separação das fibras dos produtos químicos. Além disso, ainda não é possível recorrer a tecnologia para converter as fibras usadas em fibras com características idênticas às das virgens, sendo necessário fazer a reciclagem mecanicamente: cortar e triturar. Como consequência, as fibras ficam muito pequenas, de menor qualidade e perdem 75% do seu valor. Com esta perda de valor, acabam por não ser incorporadas em vestuário novo, mas sim em materiais de isolamento, panos de limpeza ou enchimento de colchões [10, 11].

Face a todos estes impactos, a UE elaborou uma estratégia em função da sustentabilidade e circularidade dos têxteis, que abrange a sua produção e o consumo, integrando os compromissos do Pacto Ecológico Europeu. Esta estratégia tem como objetivo criar um setor mais ecológico e competitivo. A visão da Comissão para os têxteis em 2030 é [12]:

- Introduzir requisitos de conceção ecológica obrigatórios, ou seja, os têxteis deverão ser reparáveis e recicláveis, duradouros, integrarem maior número de fibras recicladas, e livres de substâncias consideradas perigosas, tanto para a saúde como para o meio ambiente;
- Deixar a “*fast fashion*” e assim os consumidores poderem ter acesso a peças de alta qualidade, a preços acessíveis e durante mais tempo;
- Ficarem disponíveis serviços de reutilização e reparação rentáveis;
- Terminar com a destruição de têxteis não vendidos ou devolvidos, obrigando as grandes empresas a divulgar publicamente a quantidade de produtos descartados e destruídos, e o tratamento que os têxteis receberam de modo a facilitar a preparação para a reutilização e reciclagem;

- Combater a poluição por microplásticos, através da utilização de filtros nas máquinas de lavar industriais, que podem reduzir até 80% de microplásticos libertados nas lavagens, do desenvolvimento de detergentes suaves e do tratamento de resíduos têxteis em fim de vida para melhorar o tratamento de águas residuais.

## **3.2 Tinturaria**

Na pré-história o homem recorria ao que a natureza lhe fornecia para se proteger das condições extremas. Inicialmente utilizava peles de animais e, mais tarde, tirou proveito de outras matérias-primas, tais como a lã e o linho. Após estes avanços deu-se a primeira tentativa de tingimento, através de corantes de origem natural, como por exemplo, plantas e animais [13].

Ao longo do tempo, a tinturaria evoluiu exponencialmente, sempre aliada à ciência, tecnologia e exigências do mercado. Posto isto, foram sintetizados corantes, levando a um desenvolvimento de uma vasta gama de cores, assim como fibras não naturais, que possibilitaram a criação de novos substratos [14].

### **3.2.1 Fibras**

A confecção de artigos têxteis já há muitos milhares de anos que é feita, sempre com o intuito de satisfazer as necessidades do Homem. Todos os têxteis têm como base as fibras e, inicialmente, as fibras disponíveis eram apenas as de fontes naturais, que estão presentes ainda nos dias de hoje. Como a procura global de fibras aumentou de forma rápida e a produção de fibras naturais não conseguia dar resposta, foi necessário o Homem fabricar as suas próprias fibras. Nas primeiras tentativas surgiram as fibras regeneradas, que têm como base fibras naturais, mas sofrem processos químicos, e só mais tarde as fibras sintéticas, baseadas em produtos da indústria petroquímica. As fibras podem ser utilizadas individualmente ou combinadas, sempre com o objetivo de melhorar a qualidade e as propriedades do produto final [15 - 17].

Tendo em conta a enorme diversidade das fibras, é possível classificá-las em dois grandes grupos, de acordo com a sua origem: naturais e não naturais. A classe das naturais refere-se a fibras que podem ser encontradas como tal no estado natural e ainda pode ser dividida em três subgrupos, sendo estes, de origem animal, vegetal ou mineral. As fibras não naturais dividem-se em três subclasses, que são: sintéticas, artificiais e inorgânicas. As sintéticas são obtidas, quimicamente, através da síntese de produtos orgânicos simples, na sua maioria derivados do petróleo, como por exemplo o poliéster. As artificiais têm como base polímeros naturais, que por ação de reagentes químicos são transformadas e moldadas para formar filamentos, tendo como exemplo a celulose. Por outro lado, as fibras

inorgânicas são aplicadas maioritariamente na engenharia aeroespacial, civil e automóvel. Estas fibras são utilizadas em compósitos como reforço da matriz, pois melhoram propriedades, tais como, resistência a temperaturas extremas, resistência ao impacto, leveza, entre outras [19, 20, 22 - 24]. A figura 2 ilustra a classificação das fibras e as suas subclasses.

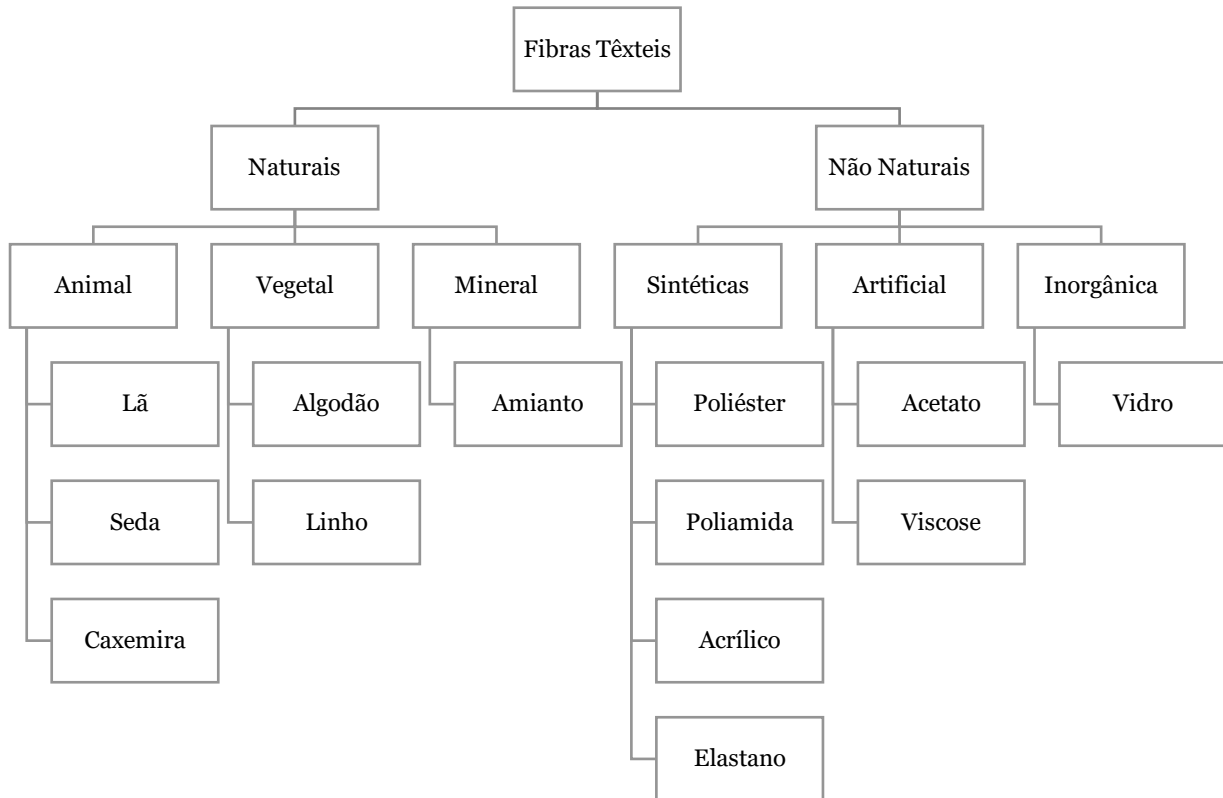


Figura 2. Classificação das fibras têxteis. Adaptado de [23].

### 3.2.1.1 Fibras Naturais

Como já foi referido anteriormente, as fibras naturais dividem-se em três grupos consoante a sua origem. As fibras vegetais têm na sua composição a celulose e podem ser extraídas das diferentes partes da planta, como por exemplo, caule, folha, semente e fruto. As principais fibras utilizadas na indústria têxtil, de origem natural, são o algodão e o linho. As de origem animal são de composição proteica e, tal como o nome indica, são obtidas a partir de animais, ou através dos pelos como é o caso da lã ou através da secreção de alguns insetos, como é o caso da seda. A fibra mineral é extraída de rochas com uma estrutura fibrosa, como é o caso do amianto [16, 25].

A classe das fibras naturais apresenta vantagens, quando comparadas com as fibras não naturais, como por exemplo, serem biodegradáveis e renováveis, bons isolantes térmicos e acústicos, apresentarem uma maior resistência devido ao seu baixo peso específico, entre outras. Por outro lado, também apresentam desvantagens, tais como, a qualidade das fibras pode ser influenciada pelo clima, pouca resistência à humidade e baixa durabilidade [25].

- Lã

A lã é uma fibra natural proteica, proveniente do pelo dos animais, com uma composição química altamente complexa. A fibra é constituída por cerca de 82% de queratina, uma proteína com uma composição elementar de carbono, hidrogênio, oxigênio, azoto e enxofre. Esta proteína trata-se de um polímero de origem natural, de elevado peso molecular, formado por cadeias polipeptídicas, constituídas por aminoácidos. Os aminoácidos apresentam uma estrutura geral, conforme se pode ver na Figura 3. Têm como base dois grupos funcionais, amina (-NH<sub>2</sub>) e ácido carboxílico (-COOH), e ainda um grupo lateral (R). No caso da lã, este grupo R inclui um dos 18 aminoácidos presentes na queratina, como por exemplo, a L – cisteína, a leucina, tirosina, lisina, entre outros. Estas cadeias laterais vão influenciar as propriedades da lã, principalmente as tintoriais e a reatividade química [18, 27, 28].

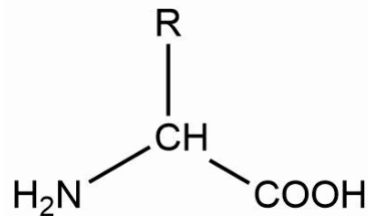


Figura 3. Fórmula geral de um aminoácido [36].

A estrutura física da lã é regida por um conjunto complexo de forças intra e intermoleculares. Essas forças permitem manter a coesão das cadeias e são influenciadas pela natureza e número de ligações presentes na fibra. Os monómeros presentes em cada cadeia polipeptídica estão ligados, entre si, através de ligações covalentes ou peptídicas. Para além das ligações que são estabelecidas entre os aminoácidos de cada cadeia, também as cadeias polipeptídicas estabelecem diferentes ligações entre si, sendo elas pontes de hidrogênio, que ocorrem entre os grupos (-CO) e (-NH); ligações iónicas entre os grupos amino e carboxílico ionizados; ligações de *Van der Waals* que ocorrem nos grupos polares ou apolares das cadeias e contribuem para a resistência mecânica da fibra; e as ligações dissulfureto (Figura 4). Esta última ligação refere-se à ligação covalente formada entre os dois átomos de enxofre (S), presentes na cistina e é de extrema importância, pois contribuem para a estabilidade da fibra e para as suas propriedades mecânicas, tais como a resistência e elasticidade [18, 27].

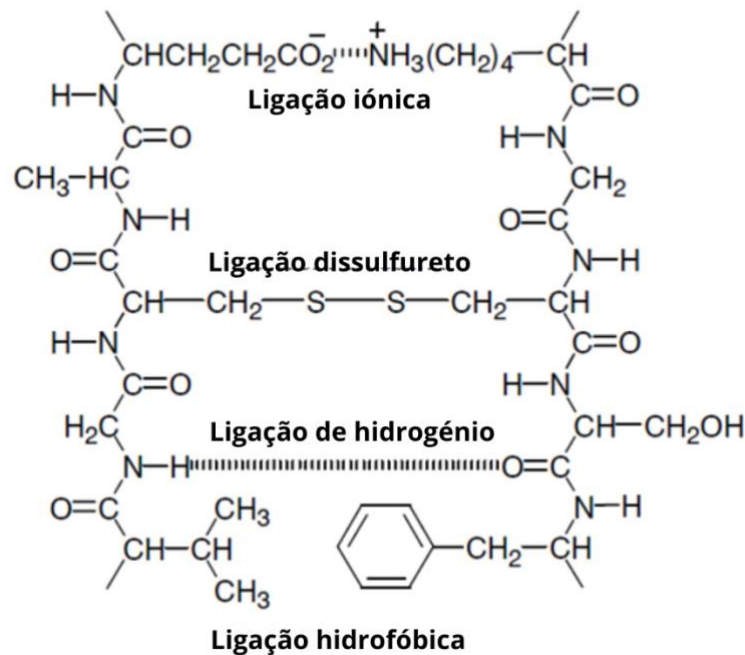


Figura 4. Forças intra e intermoleculares presentes na lã [26].

A lã é uma fibra natural amplamente valorizada na indústria têxtil, devido às suas propriedades físicas e químicas. As fibras variam de comprimento, geralmente entre 35 e 350 mm, dependendo da raça do animal. Apesar de não ter uma elevada resistência, estas destacam-se pela sua excelente elasticidade e recuperação elástica, pois têm a capacidade de recuperar o seu comprimento original após extensões curtas, e por esta razão são menos propícias a vincos. O facto de as fibras apresentarem uma ondulação natural também contribui para esta propriedade. A lã apresenta uma baixa condutividade térmica, mas por isso é um bom isolante. Em relação às propriedades óticas, quando são expostas à luz, durante períodos longos, podem deteriorar-se gradualmente e ficando com um tom mais amarelado.

As fibras de lã também se destacam pela sua capacidade de absorção de humidade, sendo consideradas as mais hidrofílicas entre todas as fibras têxteis. Quando expostas à água, as fibras de lã podem reter cerca de 16-18% do seu peso em água. Por outro lado, é importante ter cuidado com os tratamentos químicos aplicados à lã. Os tratamentos alcalinos podem danificar a sua estrutura, tornando-a menos resistente e causando amarelecimento. No entanto, a lã é resistente a ácidos diluídos, que são utilizados para remover impurezas, através do tratamento com uma solução de ácido sulfúrico a 6%.

No que diz respeito ao tingimento, a lã pode ser tingida através de diversos métodos, incluindo corantes diretos, reativos, ácidos e de complexos metálicos. A capacidade de

absorção de humidade da lã e a sua estrutura porosa tornam-na particularmente recetiva a corantes, facilitando o processo de tingimento e resultando em cores vibrantes e duradouras [18, 27].

Uma característica específica da lã é a feltragem, isto é uma forma de encolhimento irreversível. Os tecidos perdem comprimento e largura, mas ganham espessura, tornando-se mais compacta. Para se realizar a feltragem é necessário calor, humidade e compressão [27, 28].

### 3.2.1.2 Fibras Não Naturais

As fibras sintéticas desempenham um papel fundamental na indústria têxtil, oferecendo um melhor desempenho quando comparadas com as fibras naturais. As primeiras fibras totalmente sintéticas tornaram-se amplamente disponíveis no início do século XX e em 1940 foi introduzido o nylon. Após estas descobertas, foram surgindo outras fibras sintéticas, o que revolucionou a indústria têxtil, pois estas fibras são utilizadas em quase todos os campos de aplicação de fibras têxteis [29, 30].

Estes tipos de fibras são sintetizados a partir de compostos orgânicos provenientes de recursos não renováveis, como o petróleo. Por esta razão, estas fibras distinguem-se das fibras naturais e das fibras sintetizadas a partir de polímeros naturais regenerados, como é o caso da celulose. Esta classe de fibras é muito importante e têm propriedades têxteis excelentes para uma vasta gama de aplicações, tais como, não criam vincos facilmente, são resistentes à maioria dos produtos químicos, absorvem pouca humidade e não encolhem quando são lavados. Os principais polímeros utilizados são a poliamida, poliéster e poliácridonitrilo e correspondem a mais de 40% das fibras utilizadas [27, 29, 31].

- Poliéster

O poliéster é um exemplo do vasto conjunto de fibras sintéticas, produzidas a partir de polímeros criados artificialmente e que não ocorrem naturalmente. O nome comum poliéster refere-se a polímeros que incluem na sua cadeia funcional vários grupos funcionais éster, resultado de reações de condensação. Estes podem ser classificados em dois tipos: termoplásticos e termoendurecidos. O termoplástico mais significativo é o politereftalato de etileno (PET), frequentemente referido como poliéster, pois é muito versátil nas suas aplicações, como por exemplo, produção de fibras têxteis e garrafas de plástico [18, 29].

Este polímero (Figura 4) é obtido através da reação do etileno glicol ( $C_2H_4(OH)_2$ ) com o ácido tereftálico ( $C_6H_4(COOH)_2$ ), a uma temperatura de 290 °C. De modo a conseguir a fibra é preciso o polímero passar pela etapa de extrusão e, posteriormente, por um processo de estiramento, de modo a orientar as macromoléculas segundo o eixo principal da fibra. Esta última etapa vai impulsionar a cristalização, conseguindo atingir um grau de cristalização de 55%, porque os anéis aromáticos tendem a aproximar-se de forma ordenada, resultando em fibras com alto grau de cristalinidade e, por isso, de elevada rigidez e resistência à tração [18, 29, 31].

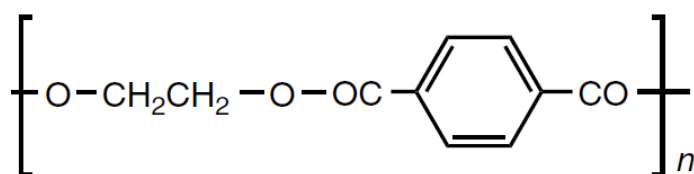


Figura 5. Estrutura química do poliéster [23].

De acordo com a aplicação final, estas fibras são elaboradas em forma de filamentos contínuos ou convertidas em fibras curtas, podendo o seu comprimento variar entre 38 e 100 mm. À semelhança do comprimento, as propriedades de tração do poliéster também podem variar de acordo com o pretendido. Outra característica relevante nesta fibra é a sua higroscopicidade, que é bastante baixa. Isto acontece devido à falta de grupos funcionais polares que têm a capacidade de estabelecer ligações, por pontes de hidrogénio, com moléculas de água e, por esta razão, o poliéster repele a água. Além disso, este exibe uma excelente resistência à tração, com valores de tenacidade a variar entre 0,4 e 0,5 N/Tex, e uma resistência ao alongamento entre 15-25. As fibras também são resistentes a ácidos e bases diluídas. Contudo, quando sujeitos a soluções concentradas podem degradar-se. Uma desvantagem muito característica do poliéster é a formação de borbotos, que se torna muito desagradável nos têxteis. No entanto, a principal vantagem do poliéster é a sua reciclabilidade, porque como é um termoplástico é possível ser fundido e modelado diversas vezes [18, 27, 29, 32].

Uma fibra pode ser definida como uma unidade de matéria, com um comprimento pelo menos 100 vezes superior à secção transversal, uma estrutura de macromoléculas lineares mais ou menos orientadas segundo o seu eixo, com a presença de zonas cristalinas e amorfas. Nem todas as fibras são as mais indicadas para aplicar na indústria têxtil e, por essa razão, devem apresentar um conjunto de propriedades mecânicas, físicas, químicas, térmicas e óticas [15, 16, 18 - 21].

- Propriedades físicas:

→ Dimensões da fibra (dimensão transversal + comprimento): a dimensão transversal (finura) é sempre inferior ao comprimento da fibra. O comprimento das fibras é variável podendo ser contínuas ou descontínuas. No caso das contínuas, estas podem ser transformadas em fios, com pouca ou nenhuma torção, proporcionando uma maior coesão e resistência. Por outro lado, as descontínuas, por serem mais curtas, dificultam o processo de fiação e apresentam irregularidades no fio (zonas grossas e finas) tornando-se mais propícios a quebra. Contudo, as fibras descontínuas podem dar aos tecidos uma sensação de suavidade. A finura das fibras corresponde ao seu diâmetro. As fibras naturais apresentam finuras variáveis, enquanto as não naturais são produzidas com finuras desejadas [15, 16, 18 - 21].

→ Higroscopicidade: é a capacidade de as fibras absorverem mais ou menos humidade do ambiente em seu redor. Esta propriedade é importante para o aproveitamento, mas principalmente para o tingimento e acabamento, tendo em conta que capacidade de absorção de água deve ser elevada [15, 16, 18 - 21].

- Propriedades Mecânicas:

→ Comportamento à tração, alongamento e resistência: estes três conceitos estão interligados. O comportamento à tração refere-se ao comportamento que a fibra tem quando sujeita a forças aplicadas segundo o seu eixo. Por outro lado, o alongamento mede a variação de comprimento da fibra, após a força aplicada. Uma fibra é tão resistente quanto maior for a força aplicada até à sua rotura [15, 16, 18 - 21].

→ Recuperação de rugas: durante as lavagens ou uso dos tecidos, estes ficam sujeitos a forças que podem provocar uma deformação dos fios e por consequência dos fios (vincos). A fibra ao ser dobrada pode sofrer alterações na sua estrutura molecular, através de distensões das ligações. O mais importante é a possibilidade de eliminar os vincos, porque no caso do algodão é fácil vincar sem necessitar de calor ou grande pressão, mas a eliminação desta deformação já é mais difícil [15, 16, 18 - 21].

- **Propriedades óticas:**
  - **Lustro:** corresponde ao brilho que a fibra tem, devido à quantidade de luz refletida. As fibras quando apresentam uma superfície lisa e uma forma de secção mais regular refletem a luz, de forma mais intensa e uniforme, criando um aspeto mais brilhante. Quando a superfície é mais rugosa ou irregular, dá-se maioritariamente a absorção da luz e, conseqüentemente, a fibra não é tão brilhante [15, 16, 18 - 21].
  - **Cor:** as fibras diferem na sua cor natural, que depende principalmente da sua origem. As fibras de algodão podem apresentar várias tonalidades de branco, amarelo e cinzento. As fibras da lã podem ter vários tons de branco, castanho e preto, dependendo da raça do animal que as originou. As fibras sintéticas podem ser produzidas com elevado grau de brancura ou até podem ser tintas quando estão a ser fabricadas [15, 16, 18 - 21].
- **Propriedades Químicas:**
  - **Resistência a produtos químicos:** no processo de fabricação de têxteis, no uso diário e nos procedimentos de limpeza/cuidado, as fibras são expostas a uma série de produtos químicos que podem afetar as suas propriedades e até mesmo danificá-las. Por exemplo, os ácidos conseguem decompor e danificar as fibras celulósicas e os produtos alcalinos fazem o mesmo com as fibras proteicas (seda e lã) [15, 16, 18 - 21].
  - **Capacidade para ser tingida:** as fibras têm uma cor esbranquiçada por natureza e, para se obterem outras cores é necessário efetuar o tingimento. O comportamento tintorial das fibras depende do número e dimensão de poros, através dos quais se dá a entrada de corante na fibra, e é necessário utilizar o corante mais adequado para se proporcionar uma maior afinidade entre corante e fibra [15, 16, 18 - 21].
- **Propriedades Térmicas:** as fibras quando são expostas à ação do calor podem comprometer as suas propriedades, tais como, alteração de afinidade tintorial, encolhimento e até podem mesmo degradar-se. Aqui é importante falar da condutividade térmica das fibras, ou seja, da sua capacidade para conduzir calor. A maior parte delas apresenta uma baixa condutividade térmica, o que as torna bons isolantes. As fibras naturais são as que fornecem melhor isolamento [15, 16, 18 - 21].

### 3.2.2 Corantes têxteis

Genericamente, um corante é uma substância química, de origem natural ou sintética, com a capacidade de conferir ou alterar cor de um substrato. A utilização destas substâncias já decorre há mais de 4000 anos e em grande parte desse tempo, estes eram obtidos a partir de fontes naturais. No entanto, em 1856 foi produzido o primeiro corante sintético, tendo sido o ponto de viragem para a produção de corantes sintéticos à escala mundial [27, 33].

Primeiro é necessário distinguir corantes e pigmentos, pois podem ser confundidos facilmente. Os corantes, de acordo com a Color Index (CI), são “substâncias orgânicas intensamente coloridas ou fluorescentes, que conferem a um substrato através da absorção seletiva de luz” [34]. Estes são total ou parcialmente solúveis e como são aplicados em diversos substratos (têxteis, couro, papel) é importante que possuam uma afinidade específica com estes. Por outro lado, os pigmentos são partículas, orgânicas ou inorgânicas, de cor preta, branca ou fluorescente, praticamente insolúveis. Encontram-se presentes na superfície dos substratos, pois as partículas têm um tamanho superior aos poros do substrato. Apesar de ambos poderem ser aplicados nos têxteis, devido à sua origem as técnicas de aplicação são bastante diferentes [31, 35].

Os corantes são moléculas orgânicas insaturadas, que absorvem e emitem radiação no espetro do visível (de 380 a 750 nm). Este composto tem uma estrutura complexa, constituída por anéis aromáticos ligados entre si, através de ligações simples e duplas alternadas, formando um sistema conjugado que é denominado cromóforo. O cromóforo tem a capacidade de absorver radiação devido à sua estrutura de ressonância, e consiste em grupos de átomos, sendo os mais comuns: nitro (-NO<sub>2</sub>), azo (-N=N-), carbonilo (-C=O-), alcenos (-C=C-), entre outros. Para que se dê o tingimento é necessária a presença de outro grupo, os auxocromos, que vão proporcionar a fixação dos corantes, pois são o grupo dador de eletrões. Estes podem ser básicos (NH<sub>2</sub>) ou ácidos (COOH, OH). Os restantes átomos presentes na molécula pertencem ao terceiro grupo, a matriz [33]. A forma como cada corante se fixa ao substrato é determinado pelas propriedades dos grupos funcionais, pela estrutura dos corantes e pelas características físicas e químicas da fibra [36].

Antes da descoberta dos corantes sintéticos, apenas existia um número limitado de corantes naturais. A classificação dos corantes tornou-se essencial, devido ao aumento significativo na variedade e quantidade de corantes. Por esta razão, a *Society of Dyers and Colourists* (SDC) e *American Association of Textile Chemists and Colourists* (AATCC) elaboraram e publicaram o *Colour Index* (CI), um catálogo universal com todos os corantes e pigmentos e respetivas classificações [31, 37]. Por conseguinte, os corantes são classificados por dois modos:

- Estrutura química: a especificidade da estrutura química de cada cromóforo vai determinar as várias classes que os corantes podem ser divididos, tais como, azo, nitroso, antraquinona, entre outras [33];
- Método de aplicação: classificação de acordo com o seu método de aplicação no substrato e incluem corantes dispersos, diretos, ácidos, reativos, entre outros [38];

Após descritos os dois métodos de classificação dos corantes, irão ser agora aprofundadas as características de alguns corantes com base no seu método de aplicação.

#### → Corantes Diretos

Esta é a maior classe de corantes e é definida como compostos aniônicos, solúveis em água e com elevada afinidade por fibras celulósicas. Contudo, também são utilizados nos tingimentos de algumas fibras proteicas. As moléculas destes corantes caracterizam-se por ter peso molecular elevado, forma estrutural longa, estreita e plana, de modo a se difundir nas fibras. Este grupo é constituída, maioritariamente, por corantes que têm o grupo azo como cromóforo. No tingimento com este tipo de corantes é preciso recorrer ao uso de um eletrólito (cloreto ou sulfato de sódio), com o intuito de melhorar a afinidade corante-fibra [31, 33, 37].

#### → Corantes Dispersos

A maioria dos corantes dispersos contêm grupos azo, podendo, no entanto, também podem conter grupos antraquinona e nitro. Estes corantes são não iónicos, insolúveis em água à temperatura ambiente, mas a temperaturas elevadas apresentam uma ligeira solubilidade. Por se tratar de corantes hidrofóbicos, apresentam uma maior afinidade por fibras também hidrofóbicas (sintéticas), principalmente pelo poliéster. O tingimento através destes corantes ocorre sob forma de dispersão aquosa. Contudo, é necessário utilizar um agente dispersante, com a finalidade de facilitar a difusão do corante na fibra e obter um tingimento uniforme no substrato. A ligação fibra-corante pode ser feita através de pontes de hidrogénio, iónica, *Van der Waals* ou covalente [31, 37, 39].

#### → Corantes Reativos

Esta gama de corantes é utilizada para tingir maioritariamente fibras celulósicas e uma pequena percentagem de fibras de seda e de lã. Os corantes reativos diferem das outras classes de corantes, porque as suas moléculas contêm um grupo reativo capaz de estabelecer ligações covalentes com os grupos hidroxilo (-OH) das fibras celulósicas, grupos amina (-NH<sub>2</sub>) e tiol (-SH<sub>2</sub>) das fibras proteicas. Existe uma variada gama disponível destes corantes.

Contudo, a maioria tem como principal grupo de cromóforos os azo e antraquinona. Estes corantes constituem a segunda maior classe, pois apresentam uma ampla gama de cores vibrantes com elevada solidez à luz e às lavagens. Contudo, a solidez pode ser posta em causa, caso o grupo reativo seja hidrolisado. Isto faz com a capacidade de fixação do corante à fibra seja diminuída [27, 37, 39].

→ Corantes Ácidos

Os corantes ácidos são assim designados por necessitarem de um banho de tingimento com carácter ácido. Posto isto, o tingimento ocorre num intervalo de pH entre 2, utilizando ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), e 6,5, utilizando acetato de amónio ( $NH_4CH_3CO_2$ ). Estes corantes são aniónicos, solúveis em água e contém um ou mais grupos de cariz ácido ( $-SO_3H$  ou  $-COOH$ ). As principais fibras que são tingidas por estes corantes são as proteicas (lã) e poliamidas, através de ligações iónicas estabelecidas nos grupos amina presentes nas fibras. O espetro de cores desta gama é bastante abrangente, e a resistência à luz e à lavagem pode variar consideravelmente, desde baixa até muito elevada. Estas propriedades dependem diretamente dos grupos presentes no cromóforo, que incluem azo, antraquinona, nitro e nitroso [27, 33, 37].

→ Corantes Pré-Metalizados (1:1 e 1:2)

Este grupo de corantes caracteriza-se por ter um ião metálico ligado a uma ou mais moléculas do corante. O ião metálico mais utilizado é o crómio, podendo, no entanto, o cobalto e o cobre também ser utilizados, sendo também os que apresentam melhores resultados de solidez. Estes corantes utilizam-se no tingimento da lã e do nylon, sob condições semelhantes à dos corantes ácidos. Apesar destes corantes substituírem outros tipos de corantes ácidos, apresentam duas desvantagens: a necessidade de utilizar produtos auxiliares, como ácidos, eletrólitos, igualizadores, entre outros; o corante não fixado à fibra contamina o banho residual com iões metálicos, tornando-se um problema ambiental [27, 39].

A tabela 2 é um resumo da classificação de corantes com base na sua aplicação, principais substratos em que são aplicados e propriedades específicas.

Tabela 2. Classificação de corantes de acordo com a sua aplicação, adaptado de [21, 33].

Classificação	Estrutura Química	Principais Substratos	Características e Aplicações
<b>Diretos</b>		Algodão, viscosa, poliamida	Maior classe de corantes; relativamente baratos
<b>Dispersos</b>		Poliéster, poliamida, acetato e acrílico	Corantes hidrofóbicos, utilizados no tingimento de fibras sintéticas
<b>Reativos</b>		Algodão, lã, seda e nylon	Fixam-se à fibra através de ligações covalentes e necessitam de temperaturas acima dos 60°C
<b>Ácidos</b>		Lã, seda, poliamida	São aplicados em meio ácido e necessitam de produtos auxiliares
<b>Pré-metalizados</b>		Lã, seda e nylon	As moléculas de corante estão ligadas ao íon metálico; apresentam uma percentagem de fixação entre 85 a 98%

### 3.2.3 Produtos Auxiliares

Os substratos têxteis são sujeitos a diversos processos de preparação, tingimento e acabamento e, com o objetivo de melhorar todos estes processos é necessário recorrer a

produtos auxiliares. Estes incluem vários tipos de produtos químicos orgânicos complexos, como por exemplo, dispersantes, detergentes, auxiliares de tingimento, entre outros. No processo de tingimento são utilizados vários agentes auxiliares com diversas funcionalidades, como mostra a Tabela 3 [27, 30].

Tabela 3. Produtos auxiliares e respectivas funções [27, 30].

<b>Produto Auxiliar</b>	<b>Função</b>
<b>Antiespuma</b>	Evitam a produção de espumas causadas por produtos mal retiradas dos substratos, agitação nos equipamentos, entre outros
<b>Molhante</b>	Uniformiza a hidrofilicidade dos tecidos, de modo a evitar manchas
<b>Igualizador</b>	Conferem uma boa distribuição do corante na fibra
<b>Dispersante</b>	Mantem a estabilidade das dispersões dos corantes dispersos no banho para obter tingimentos uniformes
<b>Carriers</b>	Utiliza-se em fibras com elevado grau de cristalinidade; permite uma melhor difusão do corante na fibra e obter cores médias e escuras
<b>Sequestrante</b>	Evita que elevados teores de íons metálicos se agreguem com os corantes e resultem em manchamentos
<b>Sais</b>	Auxilia o processo de difusão do corante, pois aumenta a força iônica do meio

### 3.2.3.1 Mordentes

Os mordentes caracterizam-se por ser compostos químicos, maioritariamente na forma de sais metálicos, que têm como principal função aumentar a afinidade entre as fibras e os corantes utilizados no tingimento. Estes atuam de duas maneiras diferentes, de acordo com o tipo de corante utilizado. Quando o corante não tem afinidade com a fibra, o mordente vai estabelecer pontes de ligação tanto com a fibra, como com o corante, pois possui afinidade com ambos. No caso de o corante ter afinidade com a fibra, o mordente vai formar um complexo metálico insolúvel com o corante, dentro da fibra, melhorando as propriedades de solidez [40].

Os mordentes metálicos mais utilizados são o dicromato de potássio, sulfato de cobre, sulfato ferroso e alúmen de potássio, pois melhoram significativamente as propriedades de solidez à lavagem e à luz [41].

O processo de utilização dos mordentes tem o nome de mordentagem, e podem ser aplicados de três maneiras diferentes: pré-mordentagem (antes do tingimento), mordentagem simultânea (aquando do tingimento) e pós-mordentagem (após tingimento). Estas abordagens diferem no momento em que o mordente é adicionado. A pré e a pós mordentagem exigem uma etapa de tratamento adicional, enquanto no processo de mordentagem simultânea a adição do mordente é feita diretamente no banho de tingimento [42].

### 3.2.4 Tingimento

O tingimento têxtil pode ser definido como o processo pelo qual os substratos têxtil são colocados em contacto com os corantes e produtos auxiliares presentes na solução aquosa (banho de tingimento), com o objetivo de obter um artigo com cor homogénea e boas propriedades de solidez. Este procedimento pode ser dividido em quatro etapas, sendo estas [13, 37]:

- Difusão do corante, presente no banho de tingimento, até à superfície da fibra;
- Adsorção das moléculas de corante na superfície da fibra;
- Difusão através da fibra: o corante desloca-se da superfície para o interior da fibra;
- Fixação: formação de ligações fibra-corante;

A absorção das moléculas de corante pelo substrato processa-se lentamente até atingir o equilíbrio e, assim termina o tingimento. Todo este processo é bastante complexo, devido aos inúmeros fatores que podem influenciar a cor final, como por exemplo, o pH, a temperatura, as características da fibra e do corante, a presença de produtos auxiliares [31, 37].

Como o tingimento é realizado através da aplicação de uma solução aquosa de corantes nos substratos têxteis, é importante ter em atenção as propriedades da água a ser utilizada. Esta deve ser isenta de sólidos suspensos e alguns iões metálicos, que podem originar tingimentos defeituosos, ter pH aproximadamente de 7 e estar livre de substâncias que possam produzir espuma [39].

O fator mais determinante para todo o processo de tingimento é a caracterização das fibras. Como já foi referido noutros capítulos, a matéria têxtil pode ser tingida em rama, fio ou tecido e, de acordo com a forma em que se encontra é imprescindível escolher os equipamentos mais adequados [30]. Uma outra característica muito importante na etapa da difusão do corante é a existência de zonas cristalinas e zonas amorfas. Nas zonas cristalinas, as moléculas poliméricas encontram-se muito organizadas, orientadas segundo o eixo da fibra e, por isso, não existem espaços vazios que possam ser ocupados por moléculas de corante, logo são zonas de baixa adsorção. Por outro lado, as zonas amorfas, por terem as macromoléculas desorganizadas e afastadas, proporcionam um aumento de espaços vazios e através destes é possível a penetração do corante na fibra [21]. Na etapa da fixação, os corantes podem reagir com a fibra através de quatro formas diferentes: interações iónicas, pontes de hidrogénio, *Van der Waals* e covalentes. A natureza química das fibras é bastante importante neste passo, devido às interações que vão estabelecer e, por esta razão dá-se também um aumento de solidez [37, 40].

O tingimento pode ser realizado através de dois modos, por esgotamento (descontínuo) e por impregnação (contínuo).

→ Tingimento por Esgotamento (processo descontínuo)

No tingimento por esgotamento, o substrato é colocado no banho de tingimento, permanecendo algumas horas. No decorrer deste processo, o corante, que se encontra dissolvido ou disperso na solução, vai ser absorvido pela fibra até ser atingido um equilíbrio. Esta transferência gradual resulta da intervenção das forças intermoleculares fibras-corante [36, 37, 41].

De uma forma geral, este processo é realizado através de um gradiente de temperatura, tendo início a uma temperatura ambiente, que aumenta lentamente, até uma temperatura final, que depende dos corantes utilizados. Este procedimento requer especial monitorização e certos cuidados ao ser executado. Os auxiliares têm de ser introduzidos primeiro, de modo a garantir uma concentração uniforme tanto no banho de tingimento, como na superfície do substrato, e só depois são introduzidos os corantes. É fundamental garantir a uniformização das concentrações dos intervenientes, para evitar possíveis erros no tingimentos. Outros fatores que podem influenciar o resultado são: a razão de banho, isto é a razão entre a massa da fibra (kg) que vai ser tingida pelo volume (L) de banho; temperatura, pH e agitação e tipos de corantes e auxiliares usados [42, 43].

→ Tingimento por Impregnação seguido de fixação (processo contínuo)

Este tingimento consiste num processo contínuo, que abrange as seguintes etapas: aplicação do corante ao substrato (impregnação), fixação e lavagem. Este processo é maioritariamente realizado em tecido. De forma geral, o tecido é imerso numa solução de corante, de volume mínimo, e de seguida é espremido por dois cilindros, com o propósito de distribuir uniformemente o corante e remover, simultaneamente, o corante em excesso. O tecido passa diretamente para a fixação, que pode ser obtido sob várias condições, dependendo dos corantes e substratos utilizados, sendo os mais utilizados o vapor saturado, ar quente e produtos químicos. A última etapa é a lavagem, que serve para eliminar os corantes e produtos auxiliares não fixados à fibra [31, 37, 39].

À semelhança do outro tingimento, também existem diversos fatores que necessitam ser controlados, tais como a hidrofiliabilidade do tecido, afinidade do corante à fibra, pressão aplicada pelos cilindros, composição/construção do tecido e velocidade do processo [27, 42].

Este procedimento é bastante útil para um grande volume de lotes, pois são processados continuamente, sem o inconveniente de serem separados e de repetir várias vezes o processo. A principal desvantagem em ser um processo contínuo é caso haja algum problema mecânico, o tecido fica retido até este ser resolvido, o que pode provocar tecidos danificados [46].

### **3.3 Sustentabilidade**

Como já foi referido anteriormente, a indústria têxtil é dos setores industriais que contribui bastante para os impactos ambientais. As etapas de tingimento e acabamento dos têxteis representam um ponto crítico, pois de acordo com o relatório feito pelo Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) são responsáveis por 36% dos impactos causados por este setor. Estes processos requerem grandes quantidades de água, tanto para o tingimento como para os ensaboamentos que são necessários a seguir [47].

Face a estes problemas e à crescente consciencialização sobre o meio ambiente, estão a surgir inovações promissoras para reduzir o impacto do tingimento, como processos de tingimento com pouca ou sem água. Os corantes naturais também voltaram a ter destaque, à escala global, como alternativa sustentável aos sintéticos. Já são várias as marcas e empresas a enveredar pelo caminho da sustentabilidade têxtil, como é o caso da empresa portuguesa Valérius 360, que em 2022 conseguiram produzir cerca de 180 toneladas de fibras e fios reciclados. Outro exemplo é a Fundação H&M que fez parceria com a *Global Fashion Agenda* (GFA) para apoiar a reciclagem dos têxteis. A nível científico, uma equipa

de investigadores da Universidade da Beira Interior estão a desenvolver uma tecnologia que permita reutilizar os corantes e a água utilizados nos processos de tingimento [44 - 47].

### 3.3.1 Corantes naturais

Os corantes sintéticos são, neste momento, mais utilizados do que os naturais pois são mais fáceis de produzir e utilizar, não necessitam de mordentes e estão disponíveis numa ampla gama de tons. Contudo, a maior desvantagem que estes têm é o seu impacto no meio ambiente e por esta razão, os corantes naturais voltaram a ter bastante interesse [44, 48].

#### 3.3.1.1 Vantagens e limitações dos corantes naturais

Os corantes naturais são considerados ecológicos, pois são obtidos de fontes renováveis e são biodegradáveis. Estes podem ser provenientes de plantas (índigo e rubia), minerais (ocre e argila), animais (cochonilha e algumas espécies de moluscos) e microrganismos, embora as plantas sejam a fonte mais comum. Diversas partes da planta podem ser usadas, como raízes, folhas, galhos, caules, lenho, casca e madeira [52].

Além disso, alguns estudos mostraram que corantes naturais podem conferir diversas propriedades aos têxteis, como antibacterianas, antifúngicas, proteção contra raios UV, entre outras. Estas propriedades podem surgir se os corantes tiverem na sua composição um grupo de biomoléculas ativas conhecidas como fitoquímicos (taninos, flavonoides) [44, 48].

Apesar das claras vantagens ambientais do uso destes corantes, ainda existem alguns problemas e desvantagens que os torna difíceis de serem aplicados a uma escala industrial. Primeiramente, tingimentos com estes corantes mais os produtos auxiliares necessários são demorados, de elevado custo e requerem uma quantidade considerável de água e de corantes, de modo a ser possível alcançar as mesmas cores que os corantes sintéticos. Isto significa um consumo significativo de água, corante e energia, não sendo muito viável para as indústrias [53].

Uma outra grande preocupação para a indústria é a baixa solidez à luz e à lavagem que estes apresentam nos tingimentos. De modo a combater a situação da fraca solidez, recorre-se a tratamentos com mordentes, que permitem facilitar a fixação do corante ao substrato. Porém, estes são, maioritariamente, compostos metálicos e acabam por não ser sustentáveis [54].

Outra questão relevante é a reprodutibilidade de cores. Os resultados obtidos estão diretamente relacionados com a fonte de obtenção do corante, a época que foi recolhido, as

condições do solo e do clima, pH das águas. Tudo isto contribui para a baixa reprodutibilidade, o que é uma limitação quando é necessário fazer tingimentos sucessivos da mesma cor [55].

#### 3.3.1.2 Otimização do tingimento com corantes naturais

Face às limitações apresentadas no tópico anterior, torna-se fundamental adicionar produtos ou adotar estratégias que permitam colmatar estes problemas. Uma das estratégias é o uso de mordentes, na maioria sais metálicos, para aumentar a afinidade fibra-corante e, consequentemente garantem a fixação do corante [41].

O outro método, principalmente utilizado nas fibras de algodão, é a cationização. Esta técnica consiste no tratamento das fibras têxteis com um composto químico catiónico, de preferência de baixo peso molecular. Este tratamento, tem como principal objetivo a alteração da carga da superfície das fibras, pois vai diminuir a repulsão electrostática dos iões negativos, tornando-se possível a absorção de corantes aniónicos, como é o caso dos corantes naturais. A introdução de cargas catiónicas na superfície é feita através dos compostos catiónicos que são os dadores dos grupos catiónicos. Este processo é bastante útil, porque aumenta significativamente a afinidade e a fixação do corante à fibra, tendo como resultado cores mais intensas e melhores solidez [41, 56].

#### 3.3.1.3 Futuro dos corantes naturais

Recentemente, surgiram estudos sobre possíveis corantes com origem em resíduos agroindustriais, demonstrando quer benefícios ambientais quer económicos. A obtenção de corantes a partir de subprodutos seria uma opção válida em termos de custos de produção quando comparado com a produção de corantes naturais recolhidos em plantas. No entanto, continua a ser um desafio a obtenção de diferentes tonalidades [52, 53].

A aplicação de corantes naturais na indústria têxtil ainda exige a superação de diversos desafios técnicos, como a melhoria dos métodos de extração e de aplicação, de modo a serem eficientes, a nível económico e sustentável [44, 53]. Apesar destas limitações, começam a surgir no mercado nacional, empresas fornecedoras de corantes naturais, tal como a *Impocolor – Suitable Solutions* e *Aquitex – Acabamentos Químicos Têxteis, S.A.*

## 4. Trabalho experimental

O presente capítulo dedica-se à apresentação detalhada de todas as atividades desempenhadas na secção de tinturaria d'A Transformadora, especificamente no laboratório de tinturaria. É de realçar que o laboratório serve de apoio à produção, pois são realizados estudos e formulação de cores em amostras, utilizando os mesmo processos que na secção produtiva, de modo a haver uma maior eficiência. A Figura 6 representa, esquematicamente, as principais operações e procedimentos realizados nesta secção. Também foram realizados dois projetos experimentais utilizando corantes naturais.

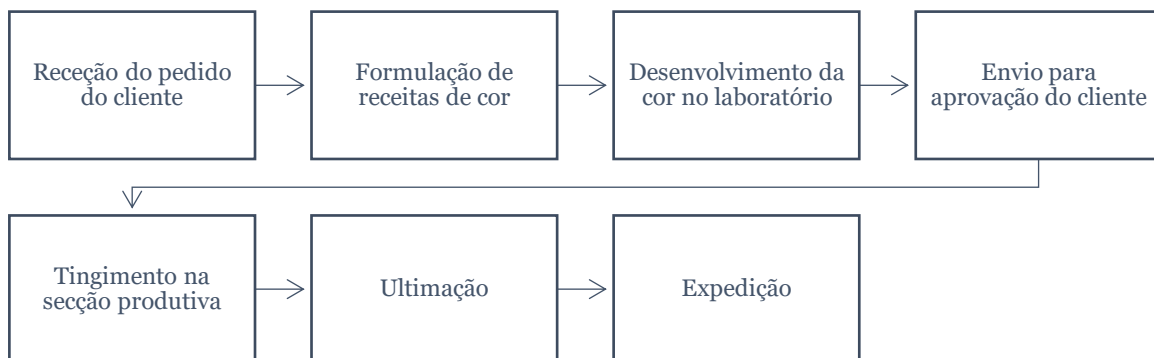


Figura 6. Etapas realizadas na tinturaria.

### 4.1 Laboratório de Tinturaria

Neste subcapítulo serão apresentadas as tarefas realizadas ao longo do estágio e as técnicas envolvidas nos tingimentos, tanto para desenvolvimento de novas cores como nos ensaios de reprodutibilidade em diversos substratos.

#### 4.1.1 Equipamento utilizado

Na realização dos ensaios e na análise dos mesmo foram necessários equipamentos, de modo a facilitar todos os processos.

O tingimento de amostras à escala laboratorial é realizado em equipamentos, de igual funcionamento aos equipamentos utilizados na produção, o que permite uma maior reprodutibilidade de cores laboratório-produção. Estas máquinas têm a capacidade de tingir 8 amostras, de qualquer substrato, pois dispõe de vários programas de temperatura e tempo, permitindo seleccionar o mais adequado para a amostra.

Um outro equipamento essencial tanto para o laboratório como para a secção produtiva é a caixa de luz. Esta disponibiliza diferentes fontes de iluminação: luz natural, luz artificial e luz ultravioleta. A visualização e avaliação destas amostras é realizada nesta caixa.

#### 4.1.2 Desenvolvimento de novas cores

Na formulação de novas cores são feitos estudos para perceber quais os corantes mais adequados para o tipo de substrato a tingir, assim como a cor desejada.

Ao laboratório de tinturaria chegam os substratos em branco, adequadamente preparados para serem tingidos. Como foi ilustrado na Figura 1, os fios e as ramas podem seguir diretamente para a tinturaria, pois são comprados/produzidos com as devidas preparações. Por outro lado, os tecidos que são para tingir necessitam de ser preparados, submetendo-os a lavagem e secagem. Ainda existem outros tipos de operações, como a termofixação, para o caso de o substrato conter poliéster ou lycra e, no caso de ser 100% lã ainda pode ser sujeito a batanagem e *crabing*, dependendo sempre do objetivo final da peça.

A formulação da receita da nova cor depende da composição do substrato e da cor pretendida. Quando a cor já existe no cartaz de cores da empresa, mas muda o substrato, utiliza-se a receita já definida como base para a nova. Por outro lado, poderá ser elaborada a formulação da cor com base no padrão de cor enviado pelo cliente. Neste segundo caso, o padrão de cor pode ser enviado num formato de amostra física, de coordenadas colométricas ou de uma referência Pantone®. O pedido do cliente também pode referir certas especificações, no tingimento ou no acabamento, que são relevantes para o desenvolvimento correto da cor.

Para se proceder ao desenvolvimento de uma nova cor, é necessário recorrer a equipamentos adequados, como o espectrofotômetro e máquina de tingimento de LAB-DIPS. No entanto, no período do estágio o espectrofotômetro não se encontrava em funcionamento. Por esta razão foi necessário recorrer a outros métodos, tais como receitas já elaboradas que serviam como base; catálogos dos fornecedores, que contêm as diferentes tonalidades de cada corante; e os conhecimentos do tintureiro, que são imprescindíveis para esta etapa.

Concluída a etapa de seleção de corantes e respectivas concentrações, é preciso preparar os banhos de tingimento. Os corantes e os produtos auxiliares encontram-se em soluções com concentrações já pré-definidas. Estes são pipetados, de acordo com as especificações das receitas. A amostra a tingir deve ter cerca de 5g e tem de ser numerada, com um marcador próprio, correspondendo ao número do ensaio. Tendo em conta a razão de banho a utilizar, o banho de tingimento (corantes, produtos auxiliares e água) e a amostra são colocados dentro de um pote de inox. Estes potes têm de ser bem fechados, para que o banho não seja vertido. Na máquina é selecionado o programa mais adequado aos substratos, considerando diversos fatores, como a temperatura, gradiente e tempo de tingimento. O pH é um dos fatores mais importantes, pois têm grande influência no tingimento e, por isso, é necessário medi-lo no início, após 10 minutos e no final. Assim consegue-se garantir que

este valor se manteve constante durante o processo. Posteriormente, as amostras são enxaguadas no hidrófilo e secas numa estufa. Quando as amostras estão secas, são então comparadas ao padrão de cor e, se estiverem em conformidade são enviadas para aprovação do cliente.

Caso a cor não seja aprovada em primeira instância, são realizados nos ensaios com as correções apropriadas. No caso de estar em conformidade com a cor pretendida, as amostras são enviadas para a ultimação para ser finalizada. No final esta volta a ser comparada com o padrão enviado pelo cliente e se for semelhante é enviado para aprovação do cliente.

Após a aprovação do ensaio, as peças (já tratadas) vão para a produção para ser tintas, onde se realizam os mesmos processos que no laboratório e a receita é ajustada à quantidade de substrato. Ao longo do tingimento são retiradas pequenas amostras para se fazer o controlo da cor. Apesar de se realizar os tingimentos no laboratório, com o objetivo de garantir reprodutibilidade de cor, existem diversos fatores, como a diferença de equipamentos ou mesmo erros humanos, há sempre a possibilidade de a receita formulada não ser bem-sucedida e ser preciso uma correção antes da finalização do processo.

#### 4.1.3 Comparação de substratos

Apesar da composição da matéria-prima ser igual, quando há alteração de lotes é preciso realizar novos ensaios de reprodutibilidade de cor no novo substratos. Estas alterações podem ter origem na mudança de fornecedor; o fornecedor ser o mesmo, mas o lote ser diferente do anterior; ou a preparação da matéria-prima ser realizada em alturas diferentes.

Através da receita inicial, é preparado um banho de tingimento com a receita original para se comparar as duas amostras. Na situação de não serem semelhantes, a receita é reajustada para o novo substrato.

#### 4.1.4 Tingimentos

Neste tópico irão ser abordados, de forma mais detalhada, os procedimentos dos diversos tingimentos realizados no laboratório. Também vão ser apresentados a gama de corantes e de auxiliares mais adequadas aos diferentes processos.

→ 100% Lã

Os corantes mais indicados para o tingimento de substratos 100% lã são os pré-metálicos 1:1 e 1:2, os ácidos ou os reativos, pois são os que apresentam melhores resultados de solidez e igualização. O tingimento decorre a uma temperatura de 100°C, por um período

de 30 ou 45 minutos, dependendo da concentração de corante. De maneira geral, são utilizados os seguintes produtos auxiliares:

- Igualizador: permite a uniformização do tingimento; pode ter vários caracteres iônicos;
- Tampão: ajuste do pH pretendido;
- Sais: eletrólitos que auxiliam o processo de difusão do corante e igualização;

A Figura 7 representa esquematicamente o processo de tingimento 100% lã. Este processo inicia-se a temperatura ambiente, com o substrato e os produtos auxiliares dentro dos potes. Após 10 minutos, são introduzidos os corantes e ficam a homogeneizar até atingir os 40°C. Permanece nesta temperatura durante 15 minutos e é feito o controle e ajuste do pH, caso seja necessário. A temperatura vai aumentando com um gradiente de 1°C por minuto, até atingir o patamar de 100°C. A duração deste varia de acordo com as concentrações de corante: 30 minutos para concentrações mais baixas e 45 minutos para concentrações mais elevadas. De seguida, volta a baixar a temperatura até 40 °C, para depois se retirar as amostras e serem exaguadas.

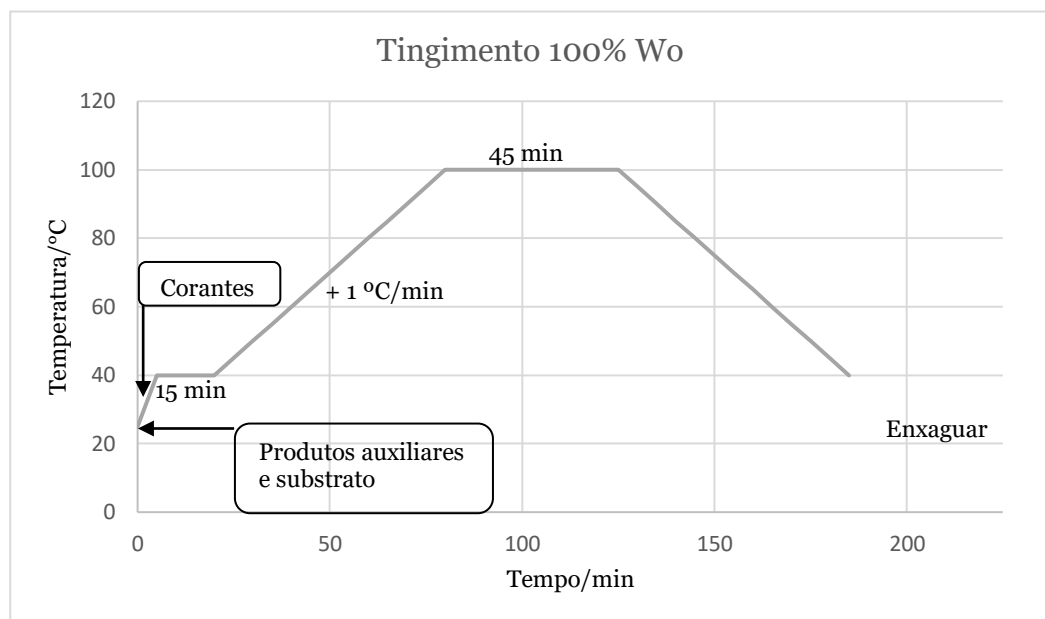


Figura 7. Gráfico de tingimento para 100% lã.

- Mistura Lã/Poliéster

No tingimento de peças com composição lã/poliéster, estas podem ser tingidas simultaneamente, ou seja, num banho só. Como são duas fibras com propriedades distintas,

os corantes mais adequados são os dispersos, no entanto os ácidos e os pré-metalizados 1:2 também podem ser utilizados. Este processo é semelhante ao anterior, contudo o tingimento é feito a uma temperatura de 120°C, durante 30 ou 45 minutos. Dada a composição deste substrato, são necessários mais produtos auxiliares, tais como:

- Agente protetor: a lã pode degradar-se, quando é sujeita a temperaturas superiores a 100°C. Este produto tem como finalidade prevenir a degradação, neste tingimento a 120°C;
- Igualizador: necessário tanto para o poliéster como a lã, para conferir uma boa distribuição pelas fibras;
- Dispersante: têm como finalidade manter a estabilidade das dispersões dos corantes dispersos e, conseqüentemente, promover tingimentos uniformes;
- Carrier: como o poliéster é uma fibra com estrutura cristalina, o ideal era ser tingido a uma temperatura de 130°C, no entanto seria incompatível com a lã. Por esta razão, recorre-se ao transportador ou “carrier” pois formam um agregado com o corante, facilitando a absorção pela fibra;
- Agente tampão: Controlo e ajuste do pH;

Por norma este tingimento ocorre a 120°C, contudo quando se pretende obter cores de baixa intensidade (mais claras) e com a seleção certa de corantes, é possível tingir esta mistura a 105°C, como demonstra a Figura 9. Mesmo a utilizar-se o protetor, pode haver casos em que se dê o amarelecimento da lã quando se quer tingir cores de baixa intensidade. Posto isto, faz-se o reajuste da receita e baixa-se a temperatura do tingimento.

A Figura 8 representa, esquematicamente, o processo de tingimento da mistura lã e poliéster. O início é semelhante ao outro já apresentado, os produtos auxiliares e o substratos são colocados em contacto, a temperatura ambiente, e passados 10 minutos são colocados os respetivos corantes. Volta a existir um patamar de 15 minutos, que tem como propósito controlar o pH. A temperatura volta a subir, com gradiente de 1°C por minuto, até se atingir o patamar aos 120°C, onde permanece entre 30 e 45 minutos, de acordo com a concentração de corantes. Após este tempo, a temperatura desce com um gradiente de 1°C por minuto, até atingir os 40°C. Concluído o tingimento, procede-se ao enxaguamento dos substratos, de modo a retirar o corante não fixado.

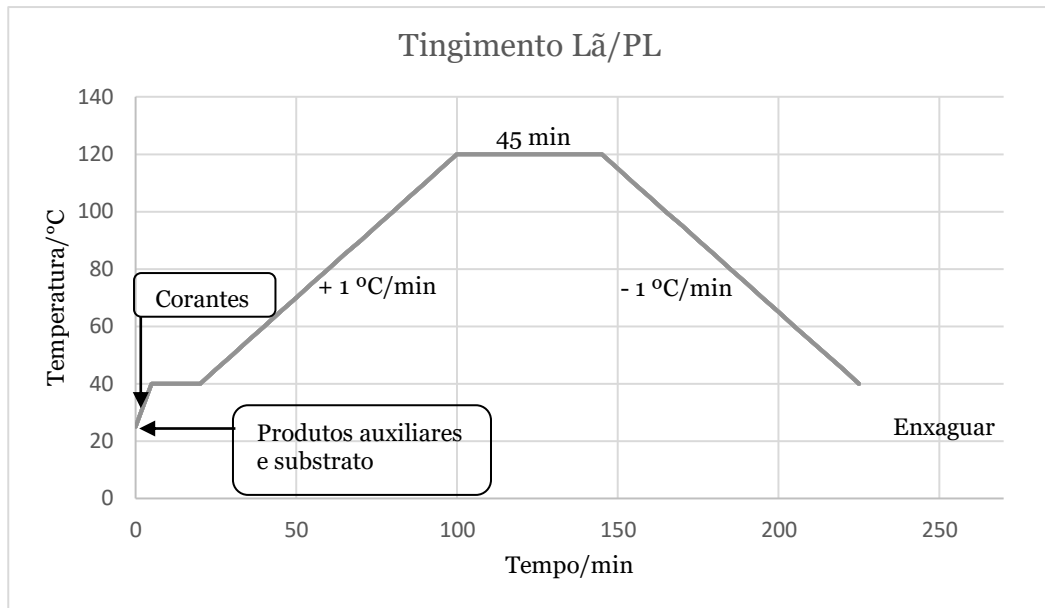


Figura 8. Gráfico de tingimento para Lã/PL.

A Figura 9 demonstra as condições de tingimento de uma mistura lã e poliéster, tal como a figura anterior exemplifica, excetuando a temperatura do patamar que é de 105°C.

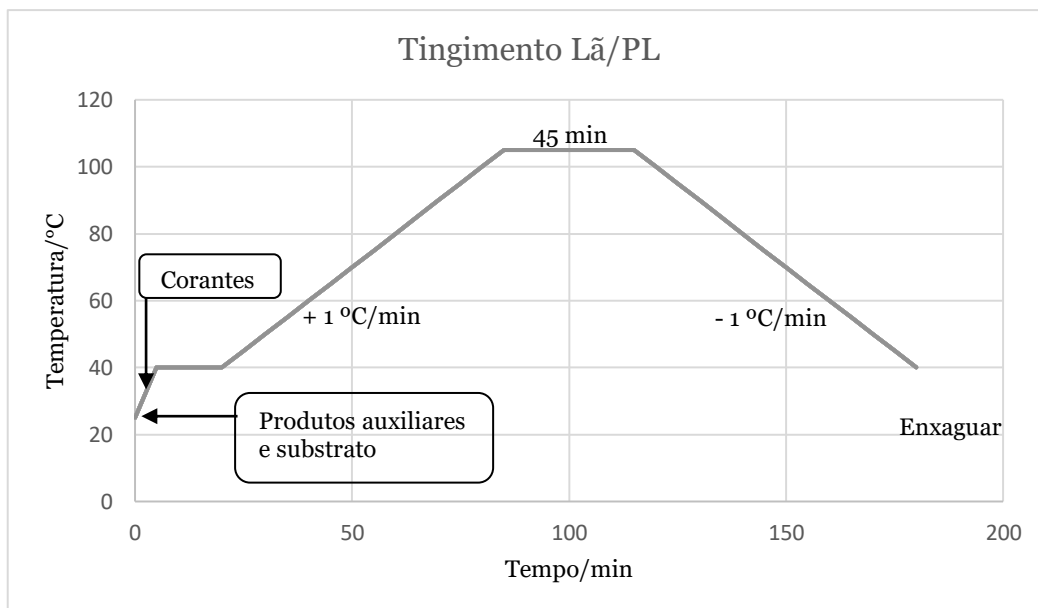


Figura 9. Gráfico de tingimento para Lã/PL a 105°C.

## 4.2 Projetos Experimentais

O presente subcapítulo diz respeito aos projetos experimentais realizados no laboratório de tinturaria d'A Transformadora, assim como no laboratório de têxtil da UBI, no âmbito da sustentabilidade, em concreto a utilização e viabilidade de corantes naturais na indústria têxtil. Primeiramente, irá ser descrito todos os processos e respetivas condições dos ensaios com água de rosas, enquanto corante. Posteriormente, vão ser apresentadas as etapas e diversos parâmetros no tingimento com corantes naturais.

#### 4.2.1 Água de rosas

Este primeiro estudo foi a continuação de um que já tinha sido realizado n'A Transformadora. Teve como base a utilização de um subproduto, de uma indústria de fragrâncias como corante natural. O protocolo seguido foi uma adaptação ao que tinha sido estabelecido com o protocolo existente no laboratório de tinturaria. O substrato utilizado foi burel (100% lã).

À semelhança do que é feito no laboratório, foram cortadas e pesadas amostras de 5 g de burel. Neste caso é necessário preparar as amostras, através de um mordente, o alumínio de potássio ( $KAl(SO_4)_2$ ), que serve para aumentar a afinidade corante-fibra. Deste modo foram realizados três tipos de mordentagem:

- Pré-mordentagem: antes de se realizar o tingimento;
- Mordentagem simultânea: o mordente é colocado juntamente com o corante e a fibra;
- Pós-mordentagem: após finalizado o tingimento;

Com o objetivo de perceber qual o tratamento mais eficaz e as possíveis variações de tonalidades prepararam-se quatro amostras, como demonstra a Tabela 4.

Tabela 4. Amostras e respetivas condições.

<b>Amostras</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Condições de tratamento</b>
1	Controlo (sem tratamento)	Apenas condições do tingimento
2	Pré-mordentagem	T = 30°C; t = 30 min
3	Mordentagem Simultânea	Apenas condições do tingimento
4	Pós-mordentagem	T = 30°C; t = 30 min

Como o corante está em estado líquido, é colocado diretamente nos potes, à exceção da 3 que é necessário juntar x gramas de mordente. O processo de tingimento segue as diretrizes dos anteriores, contudo o gradiente passa a ser de 2°C por minuto e o patamar é atingido aos 60°C, onde permanece durante 60 minutos, como é apresentado na Figura 10. De seguida, dá-se a diminuição da temperatura com um gradiente de 1°C por minuto. Concluído o tingimento as amostras são enxaguadas e secas a 80°C.

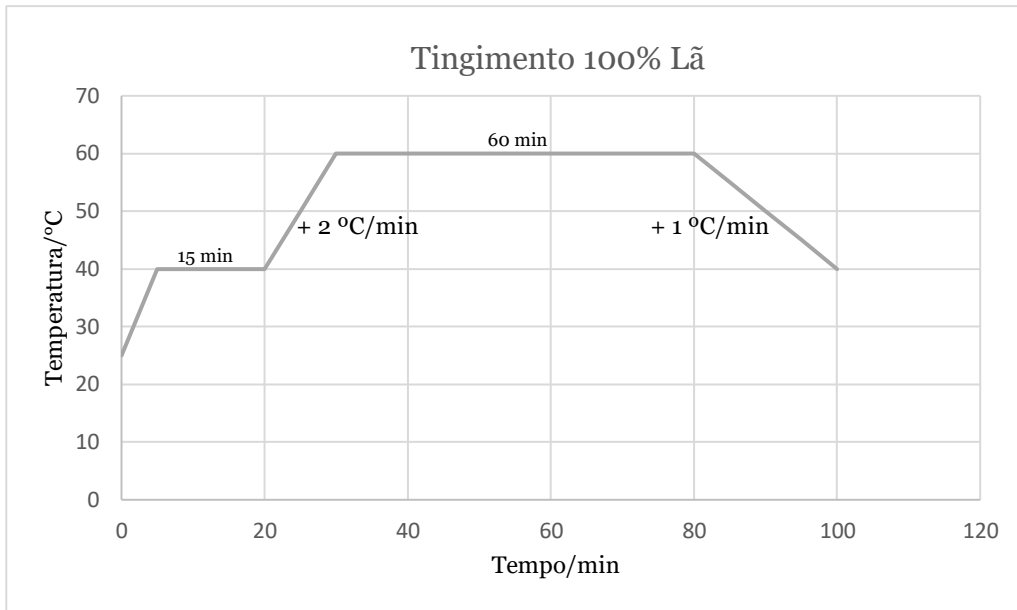


Figura 10. Gráfico das condições de tingimento com água de rosas.

Quando já secas, as amostras são submetidas a um acabamento térmico. A Figura 11 apresenta os resultados finais, em que a coluna da esquerda corresponde ao procedimento apresentado e a coluna da direita representa as amostras obtidas a partir do protocolo seguido no estudo já feito.



Figura 11 Resultados do tingimento com água de rosas.  
 Legenda: A – controlo; B – pré – mordentagem; C – mordentagem simultânea; D – pós – mordentagem;

Apesar de se ter obtido diferentes tonalidades, devido aos diversos tipos de mordentagem, em termos de aplicabilidade industrial não é exequível. Isto porque seria necessário enormes quantidades de subproduto para tingir os tecidos maiores, não têm boa solidez mesmo com o tratamento de mordentagem e, em termos comerciais, as cores não são muito apelativas.

No laboratório de têxtil da UBI também foram realizados ensaios de tingimentos com água de rosas, enquanto corante. Este estudo teve diversos objetivos, tais como:

- Verificar a eficácia da L - cisteína, enquanto biomordente;
- Interação de corante com diferentes fibras, utilizando a multifibra;
- Analisar influência dos tratamentos realizados;

Primeiramente foram cortadas amostras de multifibra, com uma massa média de 0,95g. De seguida foram preparados os banhos de tingimento, com as condições apresentadas na Tabela 5. Para se realizar a mordentagem, é necessário pesar 0,028g de L-cisteína e dissolver em 11,4 ml de água. Este volume de água é igual ao volume de corante utilizado, devido à razão de banho ser 1:12. O pH mais indicado, de acordo com a literatura era de 4, e foi medido antes de se iniciar o tingimento [57].

Tabela 5. Condições de preparação dos banhos de tingimento das multifibras.

<b>Amostras</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>pH</b>
1	Controlo	_____	3,96
2	Pré-mordentagem	T= 30°C; t= 45 min	3,81
3	Pós - mordentagem	T= 30°C; t= 45 min	3,90
4	Mordentagem simultânea	_____	3,90

O tingimento inicia a uma temperatura ambiente e vai subindo até atingir os 40°C, com o substrato em contacto com a solução de corante, e no caso da amostra 4 com o biomordente solubilizado, conforme é representado na Figura 10. Este primeiro patamar serve para homogeneizar as soluções dentro dos recipientes. De seguida, a temperatura aumenta 2°C por minuto até atingir os 60°C, permanecendo 60 minutos. Concluído o patamar, a temperatura desce 1°C por minuto. Quando concluído o tingimento, as amostras são enxaguadas e secas numa estufa. O resultado é apresentado na Figura 12. É necessário perceber que a multifibra é um substrato que contém seis tipos de fibras diferentes: lã, acrílica, poliéster, poliamida, algodão e acetato (respetivamente de cima para baixo na figura).

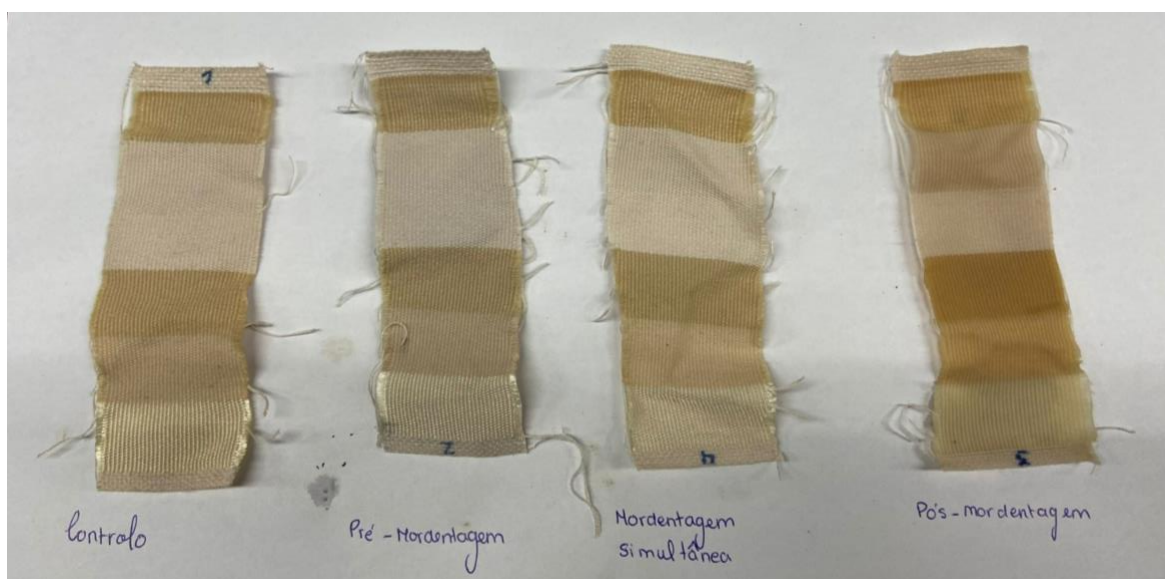


Figura 12. Resultados do tingimento com água de rosas

À primeira vista, as fibras sintéticas e o acetato não têm afinidade com o corante ficando apenas manchadas. Contudo, a etapa seguinte é o teste de solidez à lavagem, seguindo os parâmetros das normas. As amostras acima foram cortadas a meio, para que após o teste fosse possível comparar os resultados. Através da análise da Figura 13 e respondendo aos objetivos iniciais deste estudo, é possível concluir que:

- Não existe afinidade entre as fibras sintéticas e o corante;
- A pós-mordentagem apresenta cores mais brilhantes;
- A cisteína, apesar de não obter os meus resultados que um mordente metálico, pode ser um possível substituinte, de modo a tornar o procedimento mais sustentável



Figura 13. Resultados de teste de solidez à lavagem.

#### 4.2.2 Corantes Naturais

A realização deste estudo, teve como objetivo observar a influência do pH nos tingimentos. Os corantes utilizados foram fornecidos pela Empresa X, acompanhados da respetiva ficha técnica. Como o objetivo da utilização dos corantes naturais é tornar o processo de tingimento mais sustentável, não foi utilizado o mordente metálico conforme vinha descrito na ficha.

A metodologia seguida foi a mesma para os cinco corantes utilizados. Os substratos utilizados para os ensaios foram amostras de 5 g de burel (tecido 100% lã). A primeira etapa é a preparação de cinco soluções de cada corante, com uma concentração de 2g/L. Através destas soluções, é feita a pipetagem do volume correspondente a cada percentagem de corante.

A razão de banho escolhida (1:15), tinha o propósito de tentar reduzir o consumo de água nos tingimentos e verificar se não prejudicava a tonalidade final. A partir da razão de banho, calcula-se o volume final de banho (água e corante), dando 75 ml.

Antes de se dar início ao tingimento é necessário fazer a medição do pH. A condição mais favorável para os tingimentos de burel é em pH mais baixos, no entanto como o objetivo é estudar a sua influência, foi proposto tingir estes substratos em pH ácido e

neutro. A Tabela 6 apresenta as condições de preparação de banhos das amostras para cada corante.

Tabela 6. Condições de preparação dos banho de tingimento.

Amostra	% de corante	pH
1	1	3.5
2	1	6/7
3	2	3.5
4	2	6/7
5	3	3.5
6	3	6/7

Concluídas as preparações procede-se para o tingimento. A Figura 14 reflete as condições de tingimento para corantes naturais. Este processo inicia-se à temperatura ambiente e vai aumento, até atingir os 40°C. À semelhança das outras curvas já apresentadas, este patamar serve para homogeneizar e ajustar o pH, caso necessário. De seguida, a temperatura aumenta com gradiente de 1°C por minuto, até atingir os 80°C onde permanece durante 30 minutos. Após este tempo, a temperatura volta a diminuir, com o mesmo gradiente. As amostras são enxaguadas e secas na estufa.

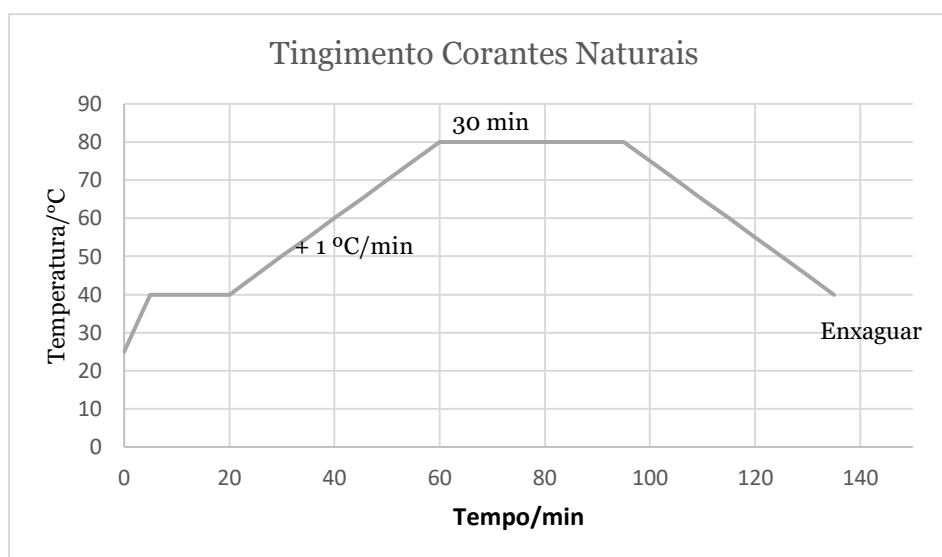


Figura 14. Gráfico de tingimento corantes naturais.

As Figuras 15 e 16 mostram os resultados do tingimento com o corante “cinzento” e “amarelo”, respetivamente.

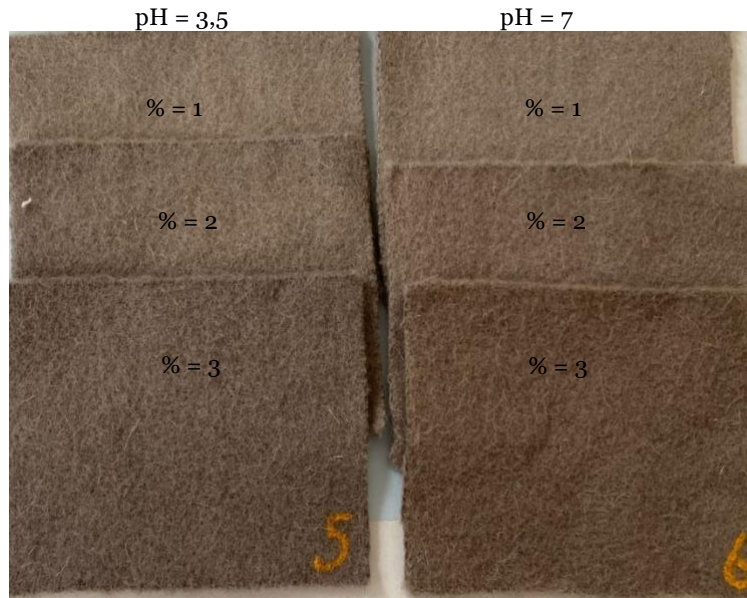


Figura 16 Resultado do corante "cinzento"

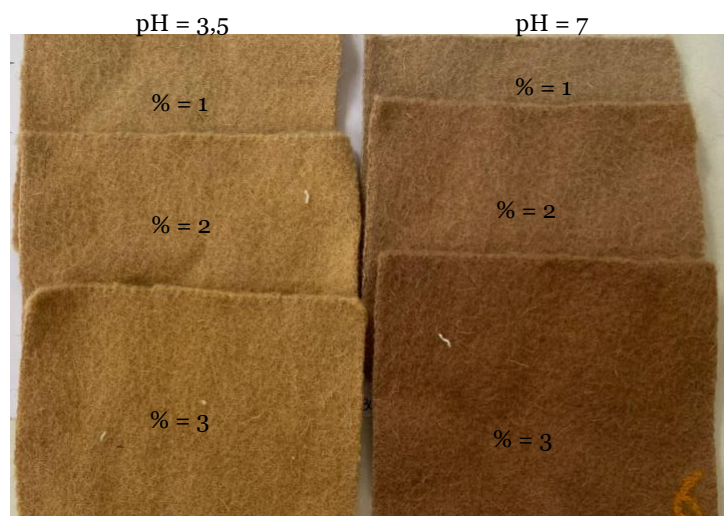


Figura 15 Resultado do corante "amarelo"

O corante “amarelo” obteve melhores resultados com o pH mais alto (coluna da direita), pois apresenta cores uniformes e devido à variação de concentração de corante, apresenta diferença de tonalidades, como seria de esperar. No entanto, as amostras com pH mais baixo apresentam-se com cores uniformes, mas sem variação de tonalidade.

Por outro lado, com o corante “cinzento” era de esperar obter melhores resultados com pH de 3,5 (coluna da esquerda). Efetivamente, as amostras da esquerda apresentam-se mais uniformes, ao contrário das amostras do lado direito, que estão um pouco

manchadas. Era de esperar um contraste maior, devido às diferentes concentrações de corante.

Estes resultados refletem a influência de certos parâmetros, como o pH, na eficácia dos tingimentos. Apesar de se ter atingido a condição ideal no corante “amarelo”, seriam necessários mais ensaios para o corante “cinzento”, de modo a perceber qual o pH ideal.

Relativamente à equiparação dos resultados obtidos com os da literatura, um dos fatores divergentes é a utilização de mordentes na otimização do processo de tingimento da lã, ou seja, no trabalho desenvolvido não foram utilizados mordentes, uma vez que o objetivo seria obter um processo mais sustentável. Por outro lado, os estudos desenvolvidos com corantes naturais recorreram a mordentes metálicos para otimizar os resultados obtidos, tais como melhoria de solidez e afinidade.

## **5. Conclusões e perspectivas futuras**

### **5.1 Conclusões**

A realização do estágio curricular na empresa A Transformadora – Fábrica do Pisão Novo, Lda, especificamente no laboratório de tinturaria, proporcionou adquirir conhecimentos teóricos e práticos de grande valor. A experiência prática permitiu aplicar conhecimentos já adquiridos ao longo do mestrado, desenvolver competências técnicas essenciais e aprofundar a compreensão dos processos de tingimento. A elaboração do presente relatório complementou esta aprendizagem, consolidando os conhecimentos na área da tinturaria. Estas competências e conhecimento serão uma mais-valia no futuro profissional.

Um dos desafios na secção da tinturaria é a reprodutibilidade de cores, tanto no laboratório como entre o laboratório e a produção. De forma a ultrapassar esta questão, é necessário otimizar os processos, com o intuito de diminuir o número de ensaios e, consequentemente, diminuir custos associados ao mesmo.

Desta maneira, é de realçar a importância de laboratórios dedicados ao apoio à produção, onde são realizados estudos e formulação de novas cores, de reprodutibilidade de receitas em diferentes lotes de material, desempenhando também um papel fundamental no desenvolvimento de produtos inovadores e sustentáveis.

A indústria têxtil é dos setores industriais que mais contribui para os impactos ambientais, sendo que as etapas mais críticas são o tingimento e o acabamento dos têxteis. Face a estes problemas e à crescente consciencialização, são cada vez mais as inovações promissoras implementadas nesta indústria, trazendo benefícios tanto para o meio ambiente como para as empresas, pois fortalecem a sua posição num mercado tão competitivo e ecológico. Os corantes naturais também voltaram a ter destaque a nível global, como alternativa aos sintéticos. Desta forma, foi bastante importante a utilização de corantes naturais e o desenvolvimento de processos de tingimento, mais sustentáveis, com esta gama de corantes.

### **5.2 Perspetivas futuras**

A indústria têxtil está a passar por um período de transformação significativa, impulsionada por avanços tecnológicos, mudança nas preferências dos consumidores e uma crescente preocupação ambiental. É fundamental continuar a desenvolver práticas e processos mais sustentáveis, como a utilização de corantes naturais e outros produtos

naturais, principalmente no setor da tinturaria. O investimento em processos de produção mais sustentáveis é bastante importante, principalmente para reduzir o consumo de água, emissões de GEE e energia, proporcionando processos mais eficientes assim como mais ecológicos. Por consequência, a implementação destas medidas irão tornar este setor mais competitivo, trazendo mais valor para as empresas, mas mais importante é a diminuição dos impactos ambientais.

## Bibliografia

- [1] J. Moses and J. Jeyakodi Moses, “Growth of textile industry and their issues on environment with reference to wool industry,” 2006, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/292065313>
- [2] “AICEP - Revista Portugalglobal 113.” Accessed: Nov. 08, 2023. [Online]. Available: <http://www.revista.portugalglobal.pt/AICEP/PortugalGlobal/Revista113/?page=6>
- [3] DGAE, “Sinopse: Indústria Têxtil e Vestuário,” 2018.
- [4] “O impacto da covid-19 no setor têxtil e vestuário português,” *Portugalglobal*, pp. 19–22, May 2020. [Online]. Available: [www.portugalglobal.pt](http://www.portugalglobal.pt)
- [5] E. Santos and R. A. Castanho, “The Impact of Size on the Performance of Transnational Corporations Operating in the Textile Industry in Portugal during the COVID-19 Pandemic,” *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14020717.
- [6] “DIRETÓRIO DIRECTORY FASHION FROM PORTUGAL 4.0”.
- [7] “Caraterização - ATP.” Accessed: Nov. 02, 2023. [Online]. Available: <https://atp.pt/pt-pt/estatisticas/caraterizacao/>
- [8] “Análise setorial da indústria dos têxteis e vestuário | BPstat.” Accessed: Nov. 05, 2023. [Online]. Available: <https://bpstat.bportugal.pt/conteudos/publicacoes/1292>
- [9] European Environment Agency, “Textiles and the environment in a circular economy,” 2019. [Online]. Available: <http://europa.eu>
- [10] Fundação Ellen McArthur, “A New Textiles Economy: Redesigning fashion’s future,” 2017.
- [11] S. Nikolina, “Environmental impact of textile and clothes industry”.
- [12] União Europeia, “Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Estratégia da UE em prol da Sustentabilidade e Circularidade dos Têxteis,” Bruxelas, Mar. 2022. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/eurostat>.
- [13] José Fiadeiro, “O tingimento de materiais têxteis: de arte a ciência,” 1993.
- [14] S. Yadav, K. S. Tiwari, C. Gupta, M. K. Tiwari, A. Khan, and S. P. Sonkar, “A brief review on natural dyes, pigments: Recent advances and future perspectives,” Jan. 01, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.rechem.2022.100733.
- [15] R. Sinclair, “Understanding Textile Fibres and Their Properties: What is a Textile Fibre?,” in *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*, Elsevier Inc., 2015, pp. 3–27. doi: 10.1016/B978-1-84569-931-4.00001-5.
- [16] Sheila Landi, *Textile Conservator’s Manual*, 2nd ed. Routledge, 2012.
- [17] S. Silveira, “Manual das Matérias Primas Têxteis,” 2011.
- [18] T. F. Cooke, “Inorganic Fibers-A literature Review,” 1991.
- [19] M. Shioya and T. Kikutani, “Synthetic Textile Fibres: Non-polymer Fibres,” in *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*, Elsevier Inc., 2015, pp. 139–155. doi: 10.1016/B978-1-84569-931-4.00007-6.
- [20] B. Mahltig, “Introduction to inorganic fibers,” in *Inorganic and Composite Fibers: Production, Properties, and Applications*, Elsevier, 2018, pp. 1–29. doi: 10.1016/B978-0-08-102228-3.00001-3.
- [21] I. I. Shuvo, “Fibre attributes and mapping the cultivar influence of different industrial cellulosic crops (cotton, hemp, flax, and canola) on textile properties,” *Bioresour Bioprocess*, vol. 7, no. 1, Dec. 2020, doi: 10.1186/S40643-020-00339-1.
- [22] M. M. Houck, “Ways of identifying textile fibers and materials,” in *Identification of Textile Fibers*, Elsevier Ltd., 2009, pp. 6–26. doi: 10.1533/9781845695651.1.6.

- [23] S. Grishanov, “Structure and properties of textile materials,” in *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes*, vol. 1, Elsevier Inc., 2011, pp. 28–63. doi: 10.1533/9780857093974.1.28.
- [24] Bernard Corbman, *Textiles fiber to fabric*, 6th ed. 1985.
- [25] M. Jawaid and H. P. S. Abdul Khalil, “Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: A review,” Aug. 01, 2011. doi: 10.1016/j.carbpol.2011.04.043.
- [26] A. D. Broadbent and Society of Dyers and Colourists., *Basic principles of textile coloration*. Society of Dyers and Colorists, 2001.
- [27] M. M. Hassan and C. M. Carr, “A review of the sustainable methods in imparting shrink resistance to wool fabrics”, doi: 10.1016/j.jare.2019.01.014.
- [28] B. L. Deopura and N. V. Padaki, “Synthetic Textile Fibres: Polyamide, Polyester and Aramid Fibres,” *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*, pp. 97–114, 2015, doi: 10.1016/B978-1-84569-931-4.00005-2.
- [29] M. R. Alcântara and D. Daltin, “A Química do Processamento Têxtil,” in *Química Nova*, vol. 19, 1996, pp. 320–330.
- [30] Roger H. Wardman, *An Introduction to Textile Coloration: Principles and Practice*. Wiley, 2017.
- [31] K. E. Perepelkin, “Physicochemical nature and structural dependence of the unique properties of polyester fibres,” September–October, 2001.
- [32] A. F. Richards, A. E. Cropper, M. MirafTAB, and D. A. Holmes, *An Introduction to Textiles*, vol. 1. Eurotex, 1993.
- [33] S. Benkhaya, S. M’rabet, and A. El Harfi, “A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes,” May 01, 2020, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.inoche.2020.107891.
- [34] Society of Dyers and Colourists and American Association of Textile Chemists and Colorists, “Definitions of a dye and a pigment | Colour Index.” Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://colour-index.com/definitions-of-a-dye-and-a-pigment>
- [35] Heinrich Zollinger, *Color Chemistry Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments*. Wiley-VCH, 2003.
- [36] J. Cegarra, P. Puente, and J. Valdeperas, *Fundamentos científicos y aplicados de la tintura de materias textiles*. Texilia, 1981.
- [37] A. Gürses, M. Açıkyıldız, K. Güneş, and M. S. Gürses, *Dyes and Pigments*. Springer Cham, 2016. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/10045>
- [38] C. C. I. Guaratini, M. Valnice, and B. Zanoni, “Corantes Têxteis,” vol. 23, no. 1, 2000.
- [39] Klaus. Hunger, *Industrial dyes : chemistry, properties, applications*. Wiley-VCH, 2003.
- [40] B. H. Patel, “Natural dyes,” in *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes*, vol. 1, Elsevier Inc., 2011, pp. 395–424. doi: 10.1533/9780857093974.2.395.
- [41] A. Kumar and A. Konar, “Dyeing of Textiles with Natural Dyes,” in *Natural Dyes*, InTech, 2011. doi: 10.5772/21341.
- [42] Thomas. Bechtold and Rita. Mussak, *Handbook of natural colorants*. Wiley, 2009.
- [43] H. Jiang, Q. Hu, J. Cai, Z. Cui, J. Zheng, and W. Chen, “Synthesis and dyeing properties of indophenine dyes for polyester fabrics,” *Dyes and Pigments*, vol. 166, pp. 130–139, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.dyepig.2019.03.025.
- [44] “Methods of Applying Dyes to Textiles,” *Textile Science and Technology*, vol. 11, no. C, pp. 112–192, Jan. 1994, doi: 10.1016/B978-0-444-88224-0.50008-4.

- [45] H. Schönberger and T. Schäfer, “Best Available Techniques in Textile Industry,” 2003. [Online]. Available: <http://www.umweltbundesamt.de>
- [46] M. Clark, “Fundamental principles of dyeing,” *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes*, vol. 1, pp. 3–27, Oct. 2011, doi: 10.1533/9780857093974.1.1.
- [47] B. Pizzicato, S. Pacifico, D. Cayuela, G. Mijas, and M. Riba-Moliner, “Advancements in Sustainable Natural Dyes for Textile Applications: A Review,” Aug. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/molecules28165954.
- [48] “Tecnologia nacional reduz poluição na ITV | Portugal Têxtil | O Portal da Industria Têxtil Portuguesa.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://portugaltexil.com/tecnologia-nacional-reduz-poluicao-na-itv/>
- [49] “«Portugal ser um dos pioneiros é, desde já, uma vantagem a nível competitivo» | Portugal Têxtil | O Portal da Industria Têxtil Portuguesa.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://portugaltexil.com/portugal-ser-um-dos-pioneiros-e-desde-ja-uma-vantagem-a-nivel-competitivo/>
- [50] “Fundação H&M faz parceria para apoiar reciclagem | Portugal Têxtil | O Portal da Industria Têxtil Portuguesa.” Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: <https://portugaltexil.com/fundacao-hm-faz-parceria-para-apoiar-reciclagem/>
- [51] L. Lin *et al.*, “Sustainable fashion: eco-friendly dyeing of wool fiber with novel mixtures of biodegradable natural dyes,” *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-25495-6.
- [52] S. Yadav, K. S. Tiwari, C. Gupta, M. K. Tiwari, A. Khan, and S. P. Sonkar, “A brief review on natural dyes, pigments: Recent advances and future perspectives,” Jan. 01, 2023, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.rechem.2022.100733.
- [53] M. Shahid, Shahid-Ul-Islam, and F. Mohammad, “Recent advancements in natural dye applications: A review,” Aug. 15, 2013. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.03.031.
- [54] M. A. Uddin *et al.*, “Textile colouration with natural colourants: A review,” May 15, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131489.
- [55] A. Kumar Samanta and P. Agarwal, “Application of natural dyes on textiles,” 2009. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/279573040>
- [56] Carlos Daniel da Costa Gomes, “Otimização de um processo de tingimento com corantes naturais,” Universidade do Minho, 2022.
- [57] Ana Rita de Sousa Vieira da Costa, “Tingimento de fibras têxteis com prodigiosina produzida por *Serratia plymuthica*,” Universidade da Beira Anterior, Covilhã, 2019.