



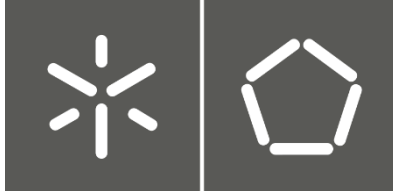
Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Otimização dos processos de tratamento prévio e tingimento
de misturas PES/CO

Vítor Manuel Peixoto Ribeiro

Vítor Manuel Peixoto Ribeiro

Otimização dos processos de
tratamento prévio e tingimento de
misturas PES/CO



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Vítor Manuel Peixoto Ribeiro

Otimização dos processos de tratamento
prévio e tingimento de misturas PES/CO

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Têxtil - Materiais e
Acabamentos Funcionais

Trabalho efetuado sob a orientação da

Professora Doutora Teresa Figueiredo Passos Ramos

Mota Miranda

Outubro de 2024

Direitos de autor e condições de utilização do trabalho por terceiros

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Agradecimentos

De modo a demonstrar a minha gratidão e reconhecimento a todos aqueles que me apoiaram e ajudaram ao longo do meu percurso académico quero agradecer a todos os que contribuíram para a concretização desta etapa da minha vida.

Primeiramente, a realização e conclusão da dissertação só foi possível dada a ajuda e predisposição dos meus pais e irmão, pelo apoio e carinho diário durante a realização não só da dissertação como também ao longo de todo o meu percurso académico, o meu maior e profundo agradecimento.

A professora Doutora Teresa Figueiredo Passos Ramos Mota Miranda por todo o apoio, palavras de incentivo, esclarecimento de dúvidas e por oferecer e conduzir a minha investigação que contribuíram para enriquecer todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado.

Um agradecimento para o meu tutor na empresa que me recebeu e toda a equipa da secção de tinturaria em fio por se terem disponibilizado e oferecido uma plataforma para me auxiliar, apoiar e esclarecer todas as questões e orientações do projeto desenvolvido.

Enfim, agradeço ainda a todos os amigos e colegas que contribuíram positivamente para a realização desta dissertação.

Declaração de Integridade

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Vitor Manuel Pinto Ribeiro

Resumo

Devido à crescente preocupação da sociedade em geral com o meio-ambiente, torna-se imperativo que se busquem soluções para combater a poluição e a escassez de recursos e a indústria têxtil não é exceção. Com efeito, esta indústria é bastante poluente, nomeadamente na área da tinturaria, que é a área em foco no trabalho, onde ainda se utilizam quantidades enormes de recursos, tais como, água, corantes e produtos químicos.

Assim este trabalho teve como objetivo central, otimizar um processo de tratamento prévio e tingimento por esgotamento em fio de uma mistura PES/CO com vista a aumentar a sua sustentabilidade. Esta otimização teve como principais objetivos reduzir a energia elétrica utilizada, a quantidade de água utilizada e o tempo total do processo. Para além destes objetivos, foi ainda fundamental que o fio apresentasse bons níveis de solidez. A fim de otimizar o tratamento prévio e tingimento do fio, foi implementado um método alternativo onde foram testados três produtos inovadores em diferentes fases do processo.

A primeira fase deste estudo consistiu em reproduzir o método convencional utilizado no tratamento prévio e tingimento do fio com uma cor escolhida para o efeito e analisou-se os gastos de água e energia elétrica requeridos pelos processos.

Numa segunda fase do estudo, implementou-se o método alternativo e realizaram-se três ensaios com produtos inovadores, cuja aplicação diferia entre si uma vez que, o primeiro atuava no tratamento prévio e os restantes no ensaboamento. Estes produtos inovadores permitiram a redução do tempo processual e da quantidade de água e energia elétrica utilizada.

A terceira fase do estudo consistiu em realizar testes de solidez nas amostras tingidas e nos testemunhos obtidos no método convencional e alternativos.

Da análise dos resultados obtidos no método convencional e alternativos, pode-se concluir que, o ensaio três se revelou ser mais eficaz que o tradicional para cores escuras, porque apresentam índices de solidez idênticos e em termos de sustentabilidade, os gastos são menores de água, energia elétrica e tempo no processo de tingimento deste tipo de fio.

Palavras-chave: algodão, otimização, poliéster, produtos inovadores, tingimento.

Abstract

Due to society's growing concern for the environment, it is imperative that solutions are sought to combat pollution and the scarcity of resources, and the textile industry is no exception. In fact, this industry is quite polluting, particularly in the area of dyeing, which is the area of focus in this work, where huge amounts of resources are still used, such as water, dyes and chemicals.

The main aim of this work was therefore to optimize a process of pre-treatment and exhaustion dyeing of a PES/CO blend in order to increase its sustainability. The main objectives of this optimization were to reduce the electrical energy used, the amount of water used and the total process time. In addition to these objectives, it was also essential that the yarn had good levels of fastness. In order to optimize the pre-treatment and dyeing of the yarn, an alternative method was implemented in which three innovative products were tested at different stages of the process.

The first phase of this study consisted of reproducing the conventional method used to pre-treat and dye the yarn with a color chosen for the purpose and analyzing the water and electricity costs required by the processes.

In the second phase of the study, the alternative method was implemented and three tests were carried out with the innovative products, the application of which differed from one another in that the first acted in the pre-treatment and the second and third in the soaping. These innovative products made it possible to reduce the amount of water and electricity used and also to reduce the duration of the dyeing process.

The third phase of the study consisted of carrying out fastness tests on the dyed samples and on the control samples obtained using the conventional and alternative methods.

From the analysis of the results obtained in the conventional and alternative methods, it can be concluded that test three proved to be more effective than the traditional method for dark colors, because they have identical fastness indexes and in terms of sustainability, there is less expenditure on water, electricity and time in the process of dyeing this type of yarn.

Keywords: cotton, optimization, polyester, innovative products, dyeing.

Índice

Direitos de autor e condições de utilização do trabalho por terceiros	iv
Agradecimentos	v
Declaração de Integridade	vi
Resumo	vii
Abstract	viii
Índice de Abreviaturas e Siglas	xii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xiv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Justificação do Trabalho	1
1.3. Objetivo do Trabalho	2
1.4. Metodologia	2
2. Enquadramento Teórico	4
2.1. Fibras têxteis	4
2.1.1. Poliéster	6
2.1.2. Algodão	8
2.2. Tingimento	11
2.2.1. Química-Física do Tingimento	11
2.2.2. Processos de Tingimento	15
2.2.3. Rendimento de um processo de tingimento	17
2.3. Tingimento do Algodão e Tingimento do Poliéster	19
2.3.1. Tratamento prévio do algodão	19
2.3.2. Corantes Utilizados no Tingimento de Algodão/Poliéster	20
2.4. Cinética do Tingimento	25
2.4.1. Variáveis que influenciam a cinética do tingimento	25
2.5. Tingimento de uma mistura Poliéster/Algodão	26

3.	Estado de Arte	30
4.	Melhoria de Sustentabilidade	31
4.1.	Produtos Inovadores.....	32
4.1.1.	Produto A.....	33
4.1.2.	Produto B.....	34
4.1.3.	Produto C.....	35
5.	Materiais e Métodos.....	36
5.1.	Materiais e Equipamentos	36
5.2	Metodologia	39
5.2.1.	Metodologia dos Ensaios	39
5.2.2	Avaliação da solidez dos tintos das amostras têxteis.....	62
6.	Apresentação e discussão dos resultados.....	67
6.1	Testes de solidez.....	67
6.2.	Melhoria de sustentabilidade ecológica	77
6.2.1	Melhoria de sustentabilidade na quantidade de água utilizada	77
6.2.2	Melhoria de sustentabilidade energética.....	79
6.3.	Otimização do tempo do processo	81
6.3.1	Método Convencional	81
6.3.2.	Método Alternativo - Ensaio 1.....	81
6.3.3.	Método Alternativo - Ensaio 2.....	82
6.3.4.	Método Alternativo - Ensaio 3.....	82
6.3.5.	Tempos totais dos processos.....	82
6.3.5.	Análise dos tempos processuais	83
6.4.	Comparação conjunta de variáveis dos processos.....	84
7.	Conclusão	86
8.	Referências Bibliográficas	88

Índice de Abreviaturas e Siglas

PES – Poliéster

CO – Algodão

PET – Poli (tereftalato de etileno)

CA – Acetato

NY – Nylon

PAC – Acrílica

WO – Lã

C_s – Concentração de corante na solução de tingimento

C_f – Concentração de corante na fibra

S_f – Saturação da fibra

Índice de Figuras

Figura 1 - Classificação das fibras têxteis	4
Figura 2 - Produção de fibras têxteis globalmente Fonte (Textile Exchange, 2024)	6
Figura 3 - Produção global de poliéster Fonte (Textile Exchange, 2024)	7
Figura 4 - Estrutura química do poliéster Fonte (O`Neill, 2003).....	8
Figura 5 - Reação de Policondensation do PET Fonte (O`Neill, 2003)	8
Figura 6 - Produção global de algodão Fonte (Textile Exchange, 2024)	9
Figura 7 - Morfologia da fibra de algodão Fonte (Bachelier & Gourlot, 2019)	9
Figura 8 - Fórmula estrutural da celulose Fonte (Gonçalves, 2017).....	10
Figura 9 - Etapas A, B e C que explicam a passagem do corante da solução para a fibra	12
Figura 10 - Migração do corante de modo a tornar o tingimento uniforme e irreversível	12
Figura 11 - Isotérmica de Nernst Fonte (Alves, 2021).....	14
Figura 12 - Isotérmica de Langmuir Fonte (Alves, 2021)	15
Figura 13 - Isotérmica de Freundlich Fonte (Alves, 2021)	15
Figura 14 - Espectro Eletromagnético Fonte (Carvalho, 2007)	20
Figura 15 - Reação de substituição nucleofílica Fonte (Gonçalves, 2017)	23
Figura 16 - Reação de adição nucleofílica Fonte (Gonçalves, 2017)	24
Figura 17 - Processo de tingimento de uma mistura algodão/poliéster	27
Figura 18 - Processo de pH deslizante	28
Figura 19 - Processo Inverso	28
Figura 20 - Processo direto	29
Figura 21 - Pictograma de sinal de perigo	34
Figura 22 – Representação figurativa de vantagens do produto	35
Figura 23 - Gráfico teórico do gradiente da Fervura Alcalina (Método Convencional).....	41
Figura 24 – Processo de tingimento teórico do PES	43
Figura 25 - Processo de tingimento em fio de uma mistura 50:50 PES/CO	46
Figura 26 - Processo utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 1)	48
Figura 27 - Tecido testemunho multifibra	62

Figura 28 - Escala de cinzentos para avaliação da alteração de cor segundo a norma ISO 105-A02.....	63
Figura 29 - Escala de cinzentos para avaliação do manchamento segundo a norma ISO 105-A03.....	63
Figura 30 - Corte do tecido testemunha multifibra.....	64
Figura 31 - Disposição da amostra entre a multifibra.....	65
Figura 32 – Método de solidez à água a 37°C.....	65
Figura 33 - Boletim de ensaios do método convencional	70
Figura 34 - Boletim de ensaios do método alternativo – ensaio 1	71
Figura 35 - Boletim de ensaios do método alternativo – ensaio 2	72
Figura 36 - Boletim de ensaios do método alternativo – ensaio 3	73

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características dos produtos testados.....	32
Tabela 2 - Reagentes utilizados na Fervura Alcalina (Método Convencional)	40
Tabela 3 - Quantidade de água utilizada na Fervura Alcalina (Método Convencional)	40
Tabela 4 - Quantidade de energia elétrica gasta na Fervura Alcalina (Método Convencional)	41
Tabela 5 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Convencional).....	42
Tabela 6 - Quantidade de água utilizada no Tingimento do PES (Método Convencional)	42
Tabela 7 - Quantidade de energia elétrica utilizada no Tingimento do PES (Método Convencional).....	42
Tabela 8 - Reagentes utilizados na lavagem redutora (Método Convencional)	43
Tabela 9 - Quantidade de água utilizada na lavagem redutora (Método Convencional) ..	44
Tabela 10 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Convencional)	44
Tabela 11 - Quantidade de água utilizado no Tingimento do CO (Método Convencional)	44
Tabela 12 - Reagentes utilizados no ensaboamento (Método Convencional)	45
Tabela 13 - Quantidade de água utilizado no Ensaboamento (Método Convencional) ...	45
Tabela 14 - Quantidade de energia elétrica utilizada no Ensaboamento (Método Convencional).....	45

Tabela 15 - Reagente utilizado no acabamento (Método Convencional).....	46
Tabela 16 - Quantidade de água utilizada no Acabamento (Método Convencional)	46
Tabela 17 - Reagente utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 1)	47
Tabela 18 - Quantidade de água utilizada no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 1).....	47
Tabela 19 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 1).....	48
Tabela 20 - Quantidade de água utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 1).....	48
Tabela 21 - Quantidade de energia elétrica utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 1)	49
Tabela 22 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 1)	49
Tabela 23 - Quantidade de água utilizada no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 1).....	49
Tabela 24 - Reagentes utilizados no ensaboamento (Método Alternativo - Ensaio 1)	50
Tabela 25 - Quantidade de água utilizada no ensaboamento (Método Alternativo - Ensaio 1).....	50
Tabela 26 - Quantidade de energia elétrica utilizada no ensaboamento (Método Alternativo - Ensaio 1).....	50
Tabela 27 - Reagente utilizado no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 1)	51
Tabela 28 - Quantidade de água utilizada no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 1)	51
Tabela 29 - Reagente utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 2)	52
Tabela 30 - Quantidade de água utilizada no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 2).....	52
Tabela 31 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 2).....	53
Tabela 32 - Quantidade de água utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 2).....	53
Tabela 33 - Quantidade de energia elétrica utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 2)	53

Tabela 34 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 2)	54
Tabela 35 - Quantidade de água utilizada no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 2)	54
Tabela 36 - Reagentes utilizados no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 2)	55
Tabela 37 - Quantidade de água utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 2)	55
Tabela 38 - Quantidade de energia elétrica utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 2)	55
Tabela 39 - Reagente utilizado no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 2)	56
Tabela 40 - Quantidade de água utilizada no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 2)	56
Tabela 41 - Reagente utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 3)	57
Tabela 42 - Quantidade de água utilizada no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 3)	57
Tabela 43 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 3)	58
Tabela 44 - Quantidade de água utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 3)	58
Tabela 45 - Quantidade de energia elétrica utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 3)	58
Tabela 46 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 3)	59
Tabela 47 - Quantidade de água utilizada no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 3)	59
Tabela 48 - Reagentes utilizados no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 3)	60
Tabela 49 - Quantidade de água utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 3)	60
Tabela 50 - Quantidade de energia elétrica utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 3)	60

Tabela 51 - Reagente utilizado no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 3)	61
Tabela 52 - Quantidade de água utilizada no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 3)	61
Tabela 53 - Resultados dos índices de solidez referentes à alteração da cor	67
Tabela 54 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo método convencional	68
Tabela 55 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo Método Alternativo - Ensaio 1	68
Tabela 56 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo Método Alternativo - Ensaio 2	68
Tabela 57 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo Método Alternativo - Ensaio 3	69
Tabela 58 - Resultados da quantidade de banhos utilizados em cada método realizado	77
Tabela 59 - Consumo Energético do Método Convencional	79
Tabela 60 - Consumo Energético do Método Alternativo - Ensaio 1	79
Tabela 61 - Consumo Energético do Método Alternativo - Ensaio 2	79
Tabela 62 - Consumo Energético do Método Alternativo - Ensaio 3	80
Tabela 63 - Comparação da energia elétrica utilizada nos ensaios realizados	80
Tabela 64 - Duração do Método Convencional	81
Tabela 65 - Duração do Método Alternativo - Ensaio 1	81
Tabela 66 - Duração do Método Alternativo - Ensaio 2	82
Tabela 67 - Duração do Método Alternativo - Ensaio 3	82
Tabela 68 - Comparação da duração de cada método	82
Tabela 69 - Comparação final de todos os métodos	84

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O tema da dissertação tem como objetivo melhorar a sustentabilidade dos processos de tratamento prévio e tingimento de uma mistura em fio de algodão/poliéster através da redução de energia utilizada e de outros recursos tais como, a água. Para isso é necessário responder à questão “De que forma é possível reduzir os gastos nestes processos têxteis?”

A motivação da escolha deste tema deve-se ao facto da área têxtil, mais especificamente o tingimento, atualmente, ainda ser uma área bastante poluente e à crescente preocupação com o meio-ambiente. Assim, é muito importante que a indústria têxtil se modernize e acompanhe as tendências atuais.

Para entender a necessidade de redução do gasto destes recursos é necessário, primeiramente, ter a noção da quantidade utilizada na indústria. Estudos apontam que se utilizam mais de 8000 produtos químicos diferentes no tingimento das diversas matérias-primas e cerca de 60L de água por quilograma de fio tingido, o que significa que uma empresa de dimensão média gastará 1,6 milhões de litros de água todos os dias (Kant, 2012).

Em relação ao uso de energia na indústria têxtil na área do tingimento, esta vai variar dependendo do processo utilizado, no entanto, o que não vai mudar é que independentemente do processo que seja utilizado ocorrerão perdas de energia desnecessárias (Hasanbeigi & Price, 2012).

1.2. Justificação do Trabalho

Cada vez mais a preocupação com o meio-ambiente é um tema em foco no mundo atual. E a indústria têxtil, como ainda é uma área bastante poluente e que utiliza muitos recursos, nomeadamente água e produtos químicos, existe a necessidade de acompanhar as tendências e de se modernizar para ajudar a tornar o mundo melhor.

Deste modo, em conjunto com a empresa onde foi realizado o estágio e no âmbito da Dissertação em Engenharia Têxtil, pretendeu-se diminuir os gastos energéticos e a quantidade de recursos que se utilizam atualmente para a preparação e tingimento de misturas de fio algodão/poliéster.

1.3. Objetivo do Trabalho

O objetivo principal deste trabalho passa por desenvolver um método alternativo ao que é utilizado atualmente no tratamento prévio e no tingimento de fios PES/CO, no intuito de diminuir a quantidade de água e de energia que são utilizados durante estes processos. Para isso é necessário responder à questão “De que forma é possível reduzir os gastos nestes processos têxteis?”

Este método alternativo visa mudar determinadas condições que se utilizam atualmente no método mais tradicional tanto na vertente do tratamento prévio, como na vertente do tingimento propriamente dito. As condições a serem alteradas serão a uma implementação de um novo método de preparação do algodão, a exclusão da lavagem redutora, a diminuição do número de lavagens de modo a poupar água. Para efetuar estas alterações será necessário testar produtos inovadores que prometem melhorar a eficiência dos processos.

Através da implementação deste método alternativo ambiciona-se que, os resultados de controlo de qualidade têxtil, nomeadamente os testes de solidez da cor não apresentem índices piores quando comparados com o método tradicional. Para além disso, será também objeto de estudo as diferenças entre os custos energéticos e os tempos processuais dos métodos estudados.

1.4. Metodologia

- **Definição de objetivos**

Para a realização deste trabalho esta será a metodologia que irá ser utilizada.

A primeira fase após a decisão do tema, foi a delinear objetivos claros, diretos e pertinentes para a elaboração da dissertação de mestrado. Sendo esta, uma fase fulcral porque vai permitir um foco preciso no tema para não existir o risco de a atenção se dispersar por assuntos secundários.

- **Pesquisa Bibliográfica/Revisão de literatura**

A segunda fase deste trabalho engloba o levantamento bibliográfico de acordo com o tema a tratar. Esta fase é crucial para a realização da dissertação uma vez que através desta é possível identificar debilidades no processo de tratamento prévio e tingimento.

- **Trabalho experimental**

Tendo em conta a pesquisa bibliográfica realizada, foi necessário definir que especificações do fio e de que forma seriam realizados os diferentes processos têxteis.

Como será necessária uma comparação entre métodos irá ser realizada um primeiro processo que vai ser denominado de método tradicional que engloba o tratamento prévio e tingimento como se realiza atualmente na indústria.

Os métodos subsequentes serão denominados de métodos alternativos e terão alterações na quantidade de água utilizada e, produtos químicos, de modo a aumentar a sustentabilidade deste tipo de processos.

- **Análise de Resultados, Conclusões finais e propostas de trabalhos futuros**

A última fase do trabalho será analisar todos os resultados provenientes dos processos experimentais efetuados, de forma crítica e determinar qual dos processos apresenta mais-valias nas diferentes áreas comparadas entre os dois tipos de processos.

Serão também apresentadas sugestões de melhoria para trabalhos futuros.

2. Enquadramento Teórico

2.1. Fibras têxteis

Uma fibra têxtil é um material que apresenta diversas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Devido a estas características, principalmente, o comprimento, diâmetro, flexibilidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura é usada em aplicações têxteis (Carvalho, 2015).

Estas divergem em termos de classificação como se verifica na figura 1.

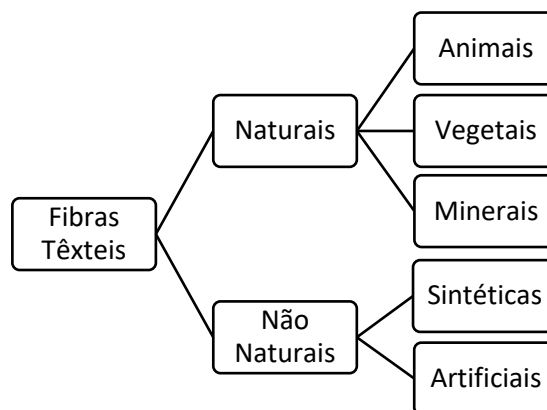


Figura 1 - Classificação das fibras têxteis

As fibras naturais de origem animal são constituídas por proteínas e podem ser produzidas por secreção glandular de larvas de inseto (seda nobre e sedas selvagens) ou podem ser constituídas por pelo de mamíferos (como, por exemplo, a lã). As fibras naturais de origem vegetal são constituídas por celulose e encontram-se nas plantas sob a forma de fibras, podendo ter origem em diferentes partes da planta (caule, folha, semente, etc). Por fim, a única fibra de origem natural mineral utilizada para fins têxteis é o amianto e foi proibida em virtude de ser uma fibra potencialmente cancerígena (Ferreira, 2022).

As fibras não naturais ou químicas são produzidas a partir de um polímero já existente na natureza ou da fusão (ou dissolução) de um polímero resultante de uma reação de síntese química. As fibras artificiais, como a viscose, são provenientes de um polímero natural e as sintéticas dividem-se em sintéticas orgânicas e inorgânicas (Romero Luiz Lauro et al., 1995).

Em relação às fibras sintéticas orgânicas estas representam o grupo de fibras têxteis com maior número de produção e consumo. São obtidas por síntese química a partir de derivados de petróleo e, em geral, são provenientes do processo de refinação da matéria-prima. A este grupo pertence uma das fibras em foco neste trabalho, o poliéster. Este tipo de fibra pode ser obtido através de duas reações de polimerização distintas:

- Reação de poliadição – reação de polimerização entre moléculas iguais;
- Reação de policondensação – Reação de polimerização entre moléculas diferentes ou de um monômero contendo dois grupos terminais diferentes.

O outro grupo de fibras sintéticas são as sintéticas inorgânicas que, como o nome indica, são produzidas através de materiais inorgânicos. A este grupo pertencem as fibras de vidro, basalto, carbono, cerâmicas, etc.

2.1.1. Poliéster

O poliéster comercial, denominado por Poli (tereftalato de etileno) (PET), é uma das fibras têxteis com maior consumo globalmente e, mais especificamente, a fibra química mais utilizada (Militky, 2009).

Um estudo anual realizado pela *Textile Exchange* apresenta detalhadamente os dados de consumo e produção das fibras têxteis mais comuns. Em 2023, mais uma vez, atingiu-se um valor recorde de produção de fibras têxteis, 124 milhões de toneladas (figura 2).

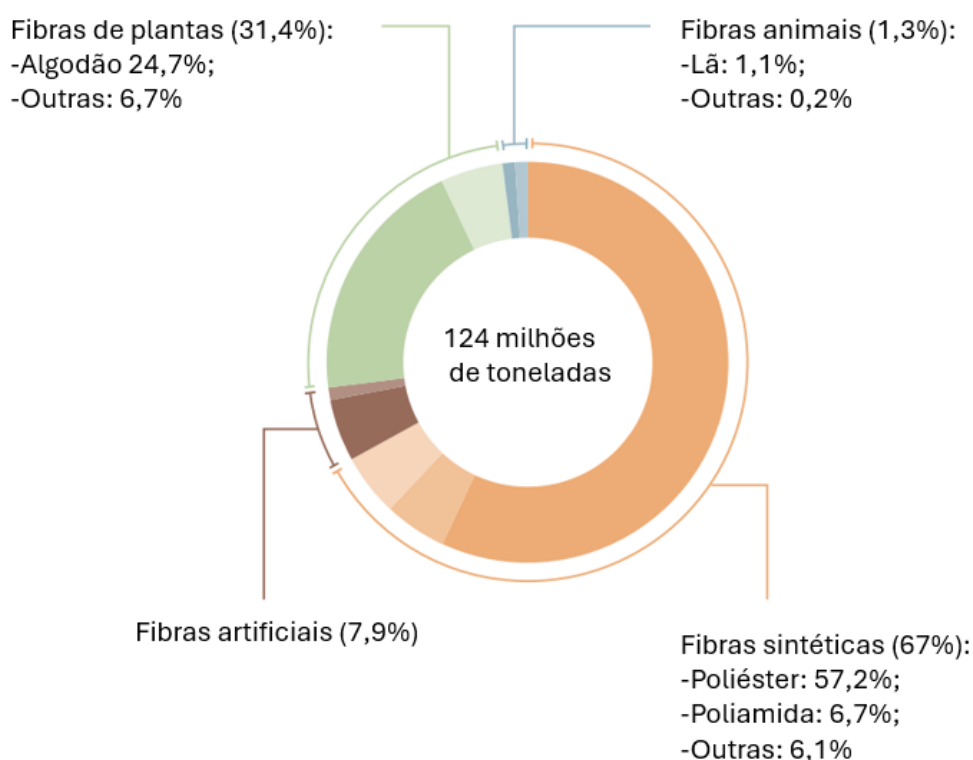


Figura 2 - Produção de fibras têxteis globalmente Fonte (Textile Exchange, 2024)

Da análise da figura 2 pode constatar-se que o poliéster é a fibra mais produzida a nível mundial. Após uma pequena diminuição na produção em 2020 devido à COVID-19, os números da produção voltaram a subir nos anos seguintes (figura 3), atingindo-se um total de 71 milhões de toneladas no ano de 2023. Verificando-se, no entanto, uma diminuição ligeira na produção de poliéster reciclado, que, normalmente, é produzido através de garrafas de plástico PET.

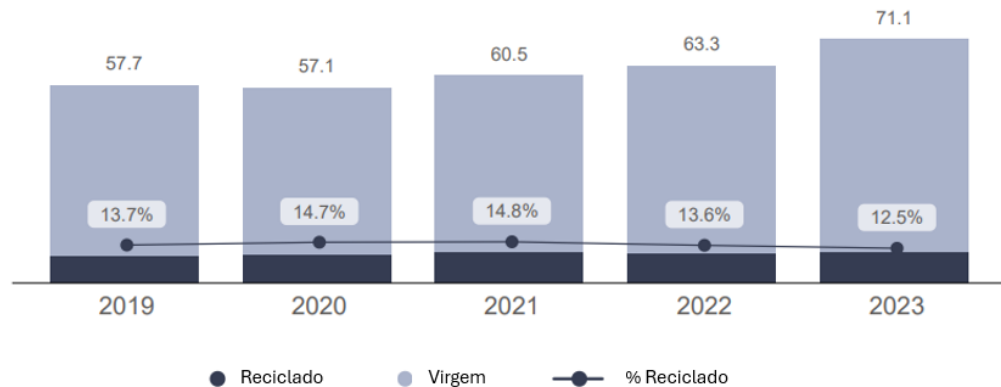


Figura 3 - Produção global de poliéster Fonte (Textile Exchange, 2024)

Devido à sua composição química esta fibra têxtil vai apresentar diversas características que a tornam uma das fibras mais utilizadas globalmente. Das quais destacam-se a sua elevada resistência mecânica, resistência ao desgaste, boa estabilidade dimensional, alta elasticidade e termoplaticidade (Militky, 2009). Uma das características mais relevantes para a realização deste trabalho é a sua hidrofobicidade, o que confere uma dificuldade acrescida a este tipo de matéria-prima (O`Neill, 2003).

O poliéster é uma das fibras mais complexas em que se pode realizar processos de tingimento. Este alto grau de complexidade deve-se a esta fibra têxtil sintética ter um grau muito baixo de hidrofiliidade. Deste modo só poderão ser usados corantes muito específicos insolúveis em água, os corantes dispersos (Militky, 2009).

2.1.1.1. Síntese do Poliéster

Assim sendo, o poliéster faz parte do grupo das fibras químicas sintéticas e, quimicamente, apresenta um éster como grupo funcional, o que significa que este se vai repetir na sua cadeia principal (Militky, 2009).

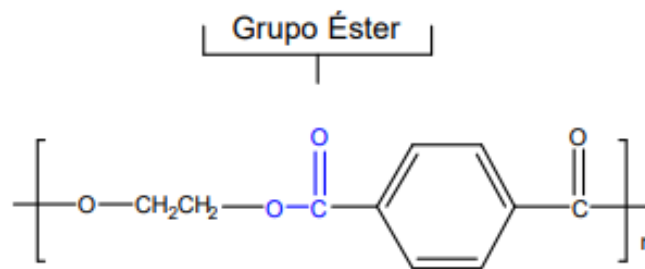


Figura 4 - Estrutura química do poliéster Fonte (O`Neill, 2003)

A fibra obtém-se, usualmente, através de uma reação de policondensação do ácido tereftálico com o etilenoglicol. Sendo esta a reação:

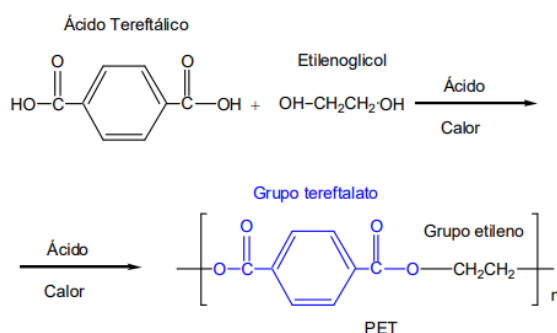


Figura 5 - Reação de Policondensação do PET Fonte (O`Neill, 2003)

2.1.2. Algodão

O algodão é uma fibra têxtil natural que é utilizada para a produção de vestuário desde a antiguidade. Apesar de não ser possível precisar com exatidão, é provável que a fiação e tecelagem desta matéria-prima tenham sido originárias da Índia por volta de 1500 antes de Cristo. No entanto, o Egito reclama ser o primeiro a produzir roupas de algodão tendo sido encontrados dentro de túmulos tecidos de algodão com mais de 4000 anos (Bastos, 2003).

Focando, então nos dias de hoje, o algodão continua a ser uma das fibras com maior utilização a nível global. No entanto, houve um decréscimo na sua produção nos últimos anos de acordo com a *Textile Exchange*. Este decréscimo pode ser explicado por várias razões, quer sejam as mudanças climáticas, os desafios sociopolíticos envolvendo esta matéria-prima ou até mesmo o mercado deste produto (Textile Exchange, 2024).

Apesar deste decréscimo, a produção de fibras de algodão continua a ter um valor muito significativo. De todas as fibras produzidas a nível global, 24.3% são constituídas por este material.

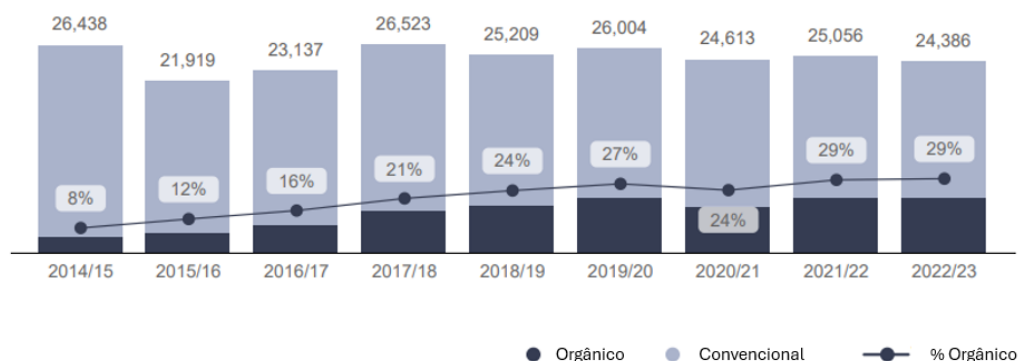


Figura 6 - Produção global de algodão Fonte (Textile Exchange, 2024)

As fibras de algodão são consideradas fibras naturais por serem provenientes de uma planta, mais especificamente, do revestimento das sementes do fruto do algodoeiro. São compostas maioritariamente por celulose localizada nas paredes primária e secundária da fibra e por impurezas presentes na cutícula, parede primária e lúmen, como ceras, gorduras, pectinas e proteínas (Broadbent & Society of Dyers and Colourists., 2001).

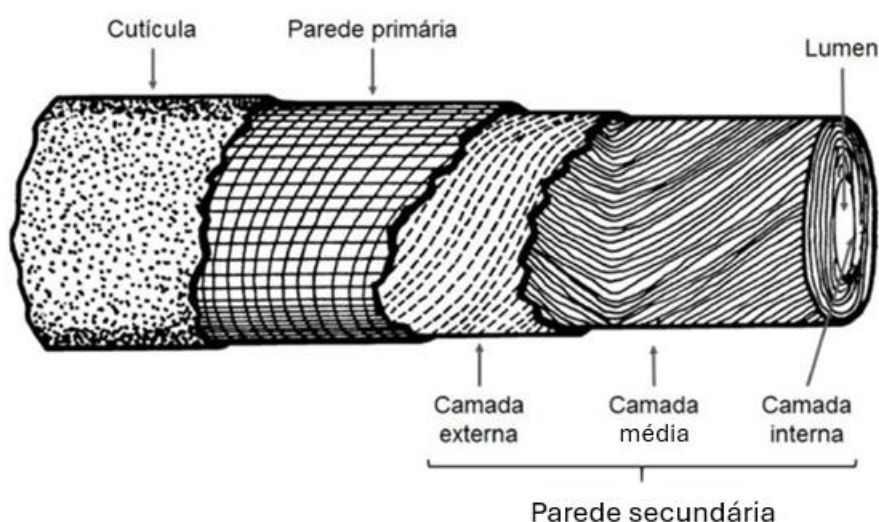


Figura 7 - Morfologia da fibra de algodão Fonte (Bachelier & Gourlot, 2019)

A celulose, principal constituinte do algodão, é uma substância complexa de fórmula química $C_6H_{10}O_5$ com a seguinte fórmula estrutural:

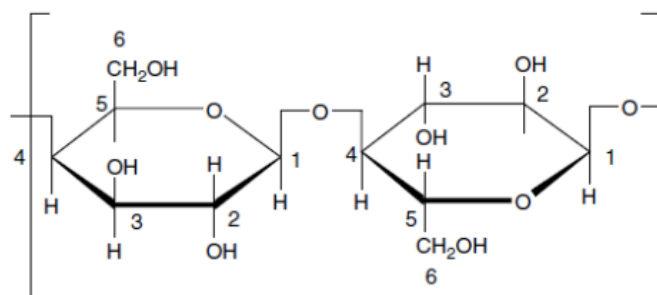


Figura 8 - Fórmula estrutural da celulose Fonte (Gonçalves, 2017)

Sendo assim, a celulose aparece em longas cadeias de moléculas unidas pelo grupo OH, estando estas cadeias dispostas paralelamente formando uma espiral. Esta disposição irá conferir à fibra resistência e estabilidade dimensional (Gonçalves, 2017).

O grande número de grupos hidroxilo presentes nas fibras vai ser responsável pela sua hidrofilidade e condiciona as suas propriedades tintoriais. Soluções alcalinas pouco concentradas provocam o inchamento das fibras, existindo, no entanto, o risco de ocorrer uma degradação significativa das mesmas, na presença de concentrações mais elevadas, a altas temperaturas, em especial na presença de oxigénio (Gonçalves, 2017).

As propriedades dinamométricas do algodão, ou seja, a resposta a forças e deformações, é importante mencionar uma vez que contribuem não só para o comportamento das fibras durante a fase processual, mas também para as características que o produto final evidencia (Bastos, 2003).

Tendo isto em conta, pode-se afirmar que o algodão é uma das fibras vegetais com maiores valores de tenacidade, mas em relação às fibras regeneradas e fibras naturais animais apresenta, por norma, valores inferiores. Sendo que, um algodão resistente apresentará uma tenacidade de 25cN/tex, o que configurará um valor médio, tendo em conta a generalidade das fibras (Bastos, 2003).

Em relação ao alongamento, tal como na tenacidade, apresenta o melhor valor entre as fibras vegetais, no entanto, apresenta valores piores quando a comparação é feita com fibras naturais. Sendo o valor médio 7%, mas podendo variar entre os 4 e 13% (Bastos, 2003).

2.2. Tingimento

O tingimento é um dos processos utilizados atualmente na indústria têxtil. Ele tem como objetivo colorir uniformemente o material têxtil e este material pode ser na forma de rama, tecido, malha ou fio, que é o tipo de tingimento realizado numa tinturaria de fios.

De forma geral, o tingimento pode ser descrito como um processo no qual o material têxtil irá absorver moléculas de corante a partir da solução de tingimento, estabelecendo ligações com a fibra que irão impedir o retorno das moléculas para a solução do qual foram absorvidas.

2.2.1. Química-Física do Tingimento

A química-física do tingimento estuda os mecanismos nos quais vão ocorrer o processo de tingimento. Através deste estudo é possível constatar que para uma matéria-prima estar tingida será necessário ultrapassar 3 etapas, sendo que as reações entre o material têxtil e os corantes podem ocorrer durante estas 3 etapas o que permite a fixação destes nas fibras, cada uma destas etapas será afetada por diferentes fatores. O que significa que é importante estudá-los e controlá-los (Alves, 2021).

Etapa A – Difusão do corante na solução de tingimento até à superfície da fibra – esta fase é afetada pela estrutura da fibra, volume e geometria do corante, solubilidade do corante, temperatura e agitação do banho;

Etapa B – Adsorção do corante na superfície das fibras – esta fase é afetada pelas forças elétricas dos vários tipos de fibras e de corantes no banho;

Etapa C – Migração do corante desde a superfície até ao interior das fibras – esta fase é afetada pelo tamanho do corante e pelas forças de ligação à fibra e representa a fase mais demorada do tingimento.

Fixação – é afetada pelas ligações/interações químicas e físicas (sendo esta exclusiva dos corantes reativos).

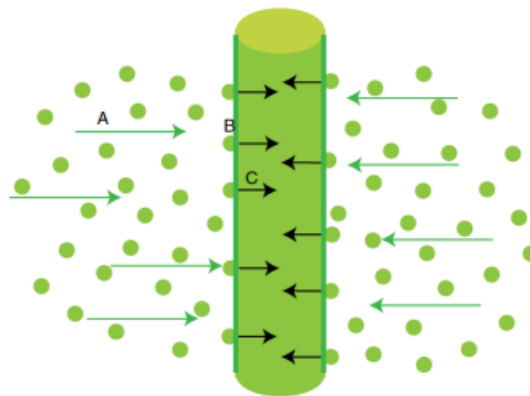


Figura 9 - Etapas A, B e C que explicam a passagem do corante da solução para a fibra

Após estas etapas será importante que a absorção do corante e fixação torne o processo irreversível e uniforme em toda a fibra têxtil. Só assim, será atingido um estado de equilíbrio que determinará o rendimento do tingimento.

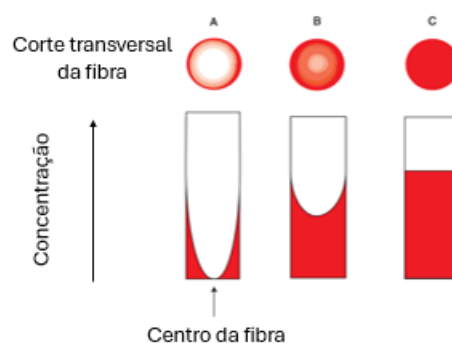


Figura 10 - Migração do corante de modo a tornar o tingimento uniforme e irreversível

2.2.1.1. Substantividade

A substantividade pode ser considerada como uma forma de medida da extensão da intensidade entre o corante e a fibra, da qual resulta a adsorção do corante à superfície da fibra têxtil (Gonçalves, 2017).

Desde o momento em que a fibra é colocada na presença de uma solução de tingimento, as moléculas de corante irão transferir-se da solução para o substrato fibroso através de um conjunto de interações mecânicas e físicas, o que vai resultar numa diminuição da concentração de corante na solução e um aumento na fibra, fruto da sua substantividade (Gonçalves, 2017). O transporte destas moléculas de corante dissolvidas na solução aquosa de corante realizar-se-á

através de canais, poros, ou capilares existentes nas regiões não cristalinas da fibra para depois serem adsorvidas na sua superfície interna (Gonçalves, 2017).

A adsorção pode ser efetuada através de dois processos distintos, física ou química. A adsorção física é um processo rápido que não requer qualquer tipo de energia de ativação e é regulado por forças de interação molecular. Já no caso da adsorção química esta requer energia de ativação, sendo, portanto, dependente da temperatura. Este tipo de adsorção envolve ligações covalentes.

2.2.1.2. Afinidade

A afinidade é uma propriedade intrínseca da matéria em virtude da qual um corpo tem tendência a reagir com outro (Alves, 2021). Sendo que o potencial químico que atrai o corante do banho para a fibra irá diminuir à medida que o corante se fixa na fibra até ser alcançado o equilíbrio. Existem diferentes fatores que irão afetar este estado de equilíbrio, nomeadamente a temperatura e a presença de eletrólitos (Alves, 2021).

2.2.1.3 Rendimento da reação de tingimento

O rendimento da reação que envolve um processo de tingimento vai depender do grau de fixação do corante nas fibras, podendo ser definido como a proporção de corante colocada na solução de tingimento que é absorvida pelo substrato têxtil e que nele vai ficar retido após o tingimento e processos subsequentes, como eventuais lavagens (Gonçalves, 2017).

2.2.1.4. Isotérmicas de adsorção

As isotérmicas de adsorção irão representar a relação existente entre a concentração de corante adsorvido pela fibra e a concentração de corante na solução de tingimento, a uma temperatura constante.

No estado de equilíbrio, esta relação é expressa por uma constante de equilíbrio k . Esta relação pode ser representada graficamente por três modelos usados em sistemas líquido-sólido, Nernst, Langmuir e Freundlich. Cada uma destas isotérmicas será aplicável a diferentes tipos de fibras têxteis (Alves, 2021).

2.2.1.4.1. Isotérmica de Nernst

Na isotérmica de Nernst, existe uma relação linear entre a concentração de corante na solução de tingimento (C_s) e a concentração de corante na fibra (C_f). Este tipo de comportamento é característico da adsorção de corantes dispersos em fibras hidrofóbicas, como é o caso do poliéster. Contudo, há um limite de saturação, a partir do qual o valor da concentração de corante na fibra não se altera, como se pode verificar na figura 11 (Alves, 2021).

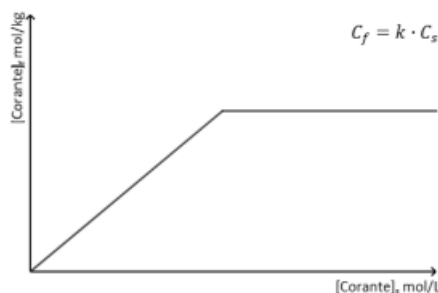


Figura 11 - Isotérmica de Nernst Fonte (Alves, 2021)

2.2.1.4.2. Isotérmica de Langmuir

A isotérmica de Langmuir aplica-se nos casos em que os números definidos de sítios de ligação no interior da fibra são limitados. As moléculas de corante, à medida que vão preenchendo os sítios disponíveis, impedem a adsorção posterior, levando à saturação, sendo S_f o limite de saturação na fibra. Este comportamento é característico do tingimento da poliamida, lã e seda com corantes ácidos e das fibras acrílicas com corantes catiónicos. Também pode ser considerado no tingimento de fibras celulósicas com corantes diretos e reativos para concentrações elevadas (Alves, 2021).

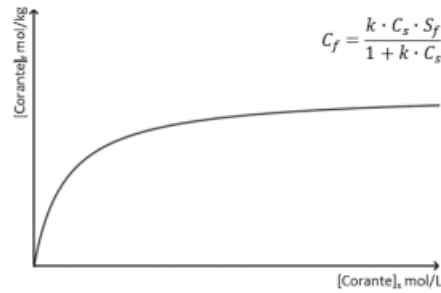


Figura 12 - Isotérmica de Langmuir Fonte (Alves, 2021)

2.2.1.4.3. Isotérmica de Freundlich

A isotérmica de Freundlich, ao contrário da isotérmica de Langmuir, não tende para um valor limite da concentração de corante na fibra, uma vez que não se considera a saturação dos locais de ligação disponíveis. Por outro lado, não é verdade para elevadas concentrações, onde se observa a saturação do corante na fibra. Este tipo de comportamento é característico do tingimento de fibras celulósicas com corantes diretos, reativos e corantes de cuba (Alves, 2021).

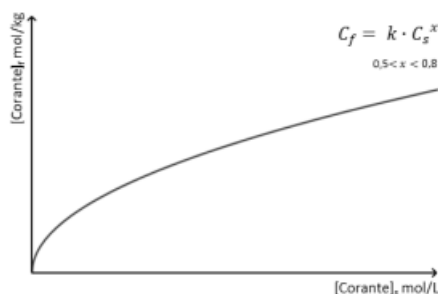


Figura 13 - Isotérmica de Freundlich Fonte (Alves, 2021)

2.2.2. Processos de Tingimento

Qualquer que seja o método que seja utilizado para se tingir uma fibra ou até mesmo o tipo de fibra que se pretenda tingir, o objetivo será o mesmo, fornecer ao substrato têxtil uma coloração uniforme ao material (Gonçalves, 2017).

O método escolhido, esgotamento ou impregnação, irá depender de diversos fatores, como por exemplo a composição do substrato têxtil, a forma do material, isto é, pode apresentar-se sob forma de rama, fio, tecido ou malha, o tipo de corantes e a maquinaria disponível (Alves, 2021).

Sendo assim, existem dois tipos de processos de aplicação que se destacam:

- Processos descontínuos ou por esgotamento;
- Processos contínuos ou semi-contínuos, por impregnação.

2.2.2.1. Esgotamento

Nos processos de tingimento por esgotamento, o movimento do corante em direção ao interior das fibras é devido à sua substantividade. Neste tipo de processos o corante encontra-se totalmente ou parcialmente dissolvido no banho de tingimento, estando durante todo o processo o substrato têxtil em constante contacto com a solução (Gonçalves, 2017). O transporte do corante para a superfície da fibra têxtil é potenciado pelo movimento do banho, pelo movimento do substrato ou pelo movimento deste conjunto (Alves, 2021).

Neste tipo de processo utilizam-se soluções diluídas de corante com razões de banho que podem variar bastante, entre 1:5 e 1:20, sendo o corante inicialmente adsorvido pela superfície da fibra e difundindo-se para o interior da mesma através pelas fases de tingimento indicadas no ponto 2.2.1. (Alves, 2021).

Este tipo de processo envolve várias variáveis que auxiliam o controlo do tingimento. Uma das variáveis mais importantes, é, a temperatura em que na maioria dos tingimentos envolve a aplicação de gradientes. Assim esta vai aumentando gradualmente ao longo do processo de tingimento até à temperatura final dependendo este parâmetro do corante aplicado. É preciso ter em conta que, o tingimento não deve ser muito rápido de forma a evitar manchamentos, nem muito lento uma vez que tornaria a aplicação dispendiosa e demorada e será através da temperatura e dos gradientes que se controlará a duração do processo. Para além desta variável, existem outras igualmente relevantes, tais como, a substantividade, razão de banho, pH da solução de tingimento e a concentração de eletrólitos. Ainda são necessários vários agentes auxiliares que

podem ter diversas funções como igualizar o corante no banho, agentes antiespuma, entre outros (Alves, 2021; Gonçalves, 2017).

2.2.2.2. Impregnação

O tingimento por impregnação pode ser executado através de processos contínuos ou semi-contínuos. No primeiro caso, o corante já se encontra fixado no momento que o substrato têxtil sai da máquina. No segundo caso, será necessária uma fase de maturação, no qual se irá processar a fixação do corante (Alves, 2021).

Independentemente do método a utilizar é necessário passar por determinadas etapas até à realização de um tingimento por impregnação bem sucedido. Estas fases estão evidenciadas a seguir:

1. Impregnação das fibras com a solução de tingimento;
2. Espressão para uniformização do banho nas fibras;
3. Tratamentos posteriores que envolvem a difusão do corante para o interior da fibra e fixação.

As principais variáveis neste método são a hidrofiliidade do substrato, o teor de humidade residual, a afinidade dos corantes, a velocidade de aplicação e a homogeneidade da pressão exercida pelos rolos espremedores do *foulard* (Alves, 2021).

2.2.3. Rendimento de um processo de tingimento

O rendimento de um processo de tingimento terá de ter em conta não só os fatores de ordem económica, mas também e deve ser tão elevado quanto possível. Os corantes por assumirem um papel preponderante no processo de tingimento terão, naturalmente, um custo financeiro associado elevado. Para além disso, parte significativa do corante estará presente nas águas residuais resultantes do tingimento o que terá um custo ambiental. No entanto já é possível

diminuir esse impacto através de um tratamento dessas mesmas águas residuais em que, porventura, será possível uma reutilização de parte desse corante recolhido nestes tratamentos (Gonçalves, 2017).

Para além dos corantes, é necessário recorrer a agentes auxiliares que vão conferir determinadas características ao substrato têxtil tais como, a igualização que serão fundamentais para ter um bom rendimento e uma boa qualidade do processo de tingimento.

Os processos de tingimento por esgotamento e por impregnação apresentam uma diferença substancial na duração necessária para que um tingimento seja bem sucedido. No caso do tingimento por esgotamento, a duração do processo é bastante mais prolongada, uma vez que é necessário que o corante se transfira do banho para a fibra gradualmente até ser atingido um equilíbrio, que é o momento em que a velocidade de adsorção e dessorção são iguais. O tempo necessário para que este equilíbrio seja atingido, depende de vários fatores, tais como, a temperatura, tipo de corante, tipo de fibra têxtil e os reagentes auxiliares utilizados ao longo de todo o processo de tingimento (Gonçalves, 2017).

O rendimento do processo de tingimento depende das temperaturas selecionadas. Sendo o tingimento um processo exotérmico, a utilização de baixas temperaturas irá favorecer o rendimento da reação. No entanto demoraria mais tempo até o equilíbrio ser atingido. Deste modo, é necessário haver um compromisso entre o tempo e o rendimento de modo a ser atingido o melhor custo-benefício. Porém, nas empresas, normalmente prioriza-se o aspeto monetário do tingimento, utilizando-se temperaturas mais elevadas para se realizarem tingimentos mais rápidos e por consequência ser possível realizar mais tingimentos.

2.3. Tingimento do Algodão e Tingimento do Poliéster

2.3.1. Tratamento prévio do algodão

Todos os substratos têxteis necessitam da realização de tratamentos antes de serem tingidos. Estas operações, têm como objetivo a remoção de impurezas presentes nas fibras, de modo torná-lo mais hidrófilo e suscetível a operações de tingimento, estamparia e acabamentos (Araújo & Castro, 1984).

O algodão cru possui gorduras, ceras, pectinas e sais minerais que dão um carácter hidrofóbico à fibra, o que apresenta um obstáculo ao tingimento. A sua remoção é conseguida através da realização de uma operação denominada de fervura alcalina, a qual consiste num tratamento em solução alcalina a uma temperatura próxima da ebulição. Ao remover estas impurezas vamos ter como resultado um algodão hidrófilo (Araújo & Castro, 1984).

Para além da fervura alcalina é possível que, dependendo da cor em que se pretende tingir, seja necessário efetuar um branqueamento. Este tem como objetivo eliminar as cores naturais das fibras têxteis e remover alguns tipos de impurezas, nomeadamente restos de cascas que não tenham sido removidos durante a fervura alcalina (Gonçalves, 2017).

2.3.2. Corantes Utilizados no Tingimento de Algodão/Poliéster

Os corantes são constituídos por moléculas que têm a capacidade de absorver radiação na região de visível do espectro eletromagnético (figura 14), ou seja, com comprimento de ondas entre os 400 e 750 nanómetros.

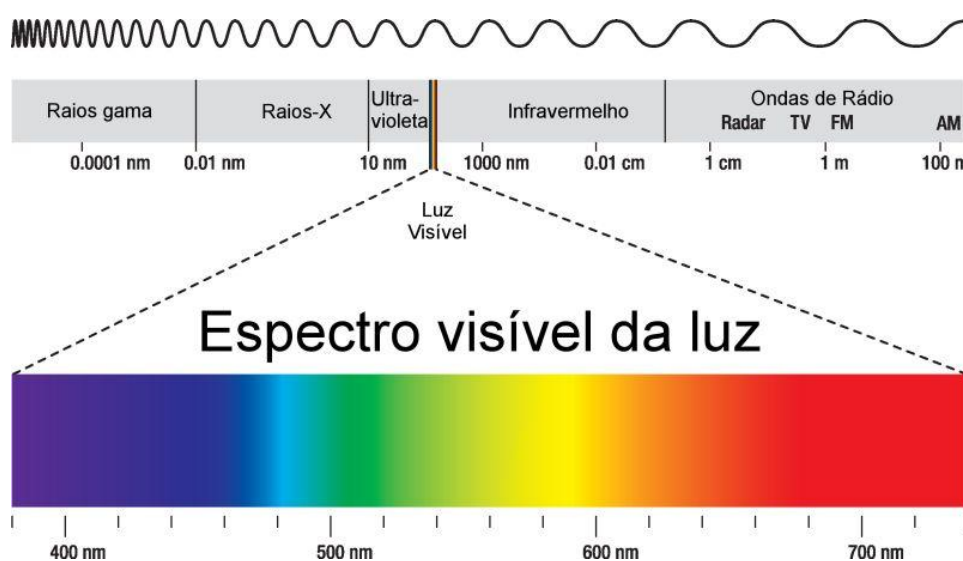


Figura 14 - Espectro Eletromagnético Fonte (Carvalho, 2007)

Dependendo do tipo de corante podem ter uma cor mais ou menos intensa e, por norma, são parcialmente ou totalmente solúveis em água (apesar de ser possível a utilização de outros meios de aplicação diferentes da água) e de serem mais ou menos resistentes a tratamentos que ponham em causa a solidez dos tintos na matéria-prima (Gonçalves, 2017).

2.3.2.1 Corantes Dispersos

Um corante disperso é um corante não iónico muito pouco solúvel em água à temperatura ambiente e que mesmo a altas temperaturas tem uma solubilidade limitada apesar de haver um

certo aumento de solubilidade. No entanto, possuem substantividade para fibras hidrofóbicas tal como a poliamida e o poliéster onde são bastante solúveis.

Além das propriedades físicas que influenciam a estabilidade das dispersões há ainda a considerar as seguintes:

- Solubilidade em água
- Cristalização
- Grau de suscetibilidade ao pH
- Grau de suscetibilidade à redução

Tal como o nome sugere, os corantes dispersos estão presentes no banho de tingimento na forma de uma fina suspensão aquosa na presença de um agente dispersante. A água vai dissolver uma pequena quantidade de corante que está na forma molecular e as fibras hidrofóbicas depois absorvem o corante do banho. Devido ao facto destes corantes terem um peso molecular baixo, muitos sublimam a altas temperaturas o que faz com que possam também ser absorvidas pelas fibras no estado de vapor no decorrer de processos de tingimento por impregnação (Thermosol).

Após o tingimento, há sempre corante que fica depositado nas superfícies das fibras o que leva à necessidade de um tratamento redutor para o remover. Este tratamento vai destruir então todo esse corante em condições alcalinas.

2.3.2.2. Corantes Reativos

Os corantes reativos têm como principal característica a capacidade de formar com os matérias-primas têxteis ligações covalentes, podendo estas ser entre átomos de carbono e de oxigénio ou de nitrogénio de um grupo hidroxilo ou amina de um substrato (Alonso, 2008).

Este tipo de corantes, devido a estas ligações covalentes apresentam, boa solidez a processos a molhado. Dada a facilidade de aplicação e os bons resultados obtidos, são atualmente cada vez mais utilizados (Alves, 2021).

A estrutura molecular deste tipo de corante é semelhante ao de outros tipos de corantes, ácidos e diretos, no entanto, apresenta um grupo reativos, que possibilita a ligação covalente com as fibras (Gonçalves, 2017).

Assim sendo, a estrutura molecular dos corantes reativos é constituída por quatro constituintes:

- Grupo reativo – Grupo que caracteriza este tipo de corantes, dotando-os da capacidade de reagir com a fibra, através da formação de ligações covalentes;
- Grupo cromóforo – Responsável pela formação da cor e o principal responsável pela afinidade manifestada pelo corante para com as fibras. São normalmente estruturas azo, antraquinona ou ftalocianina;
- Grupos solubilizantes – Grupos sulfônicos presentes no cromóforo, que aumentam a solubilidade do corante em água;
- Grupo de ligação – Grupo responsável por fazer a ligação entre o cromóforo e o grupo reativo.

No caso do algodão, que é a matéria-prima que irá ser tingida com corantes reativos, os corantes entram nas zonas amorfas das fibras através dos canais porosos preenchidos com água e ligam-se depois às fibras, sendo que esta ligação é estabelecida através de várias forças moleculares e vai depender da classe do corante (Vilela, 2018).

Este tipo de corante para além de apresentar níveis de solidez elevados, possui outras vantagens, tais como, uma ampla gama de cores, custo aceitável, tempos de tingimentos curtos e estabilidade nas condições de processo. São mais brilhantes, duradouros e fáceis de utilizar quando comparados com outros corantes (Vilela, 2018; Jena et al., 2015).

Dentro dos grupos reativos existentes só alguns conseguem cumprir os requisitos comerciais impostos pelo mercado do tingimento de fibras celulósicas (Gonçalves, 2017). Estes grupos reativos encontram-se assinalados a seguir:

- Diclorotriazina;
- Monotriazina;
- Monofluortriazina;
- Dicloroquinaxalina;

- Difluorcloropirimidina;
- Tricloropirimidina;
- Vinilsulfônico.

Estes grupos reativos poderão reagir com a fibra através de dois mecanismos diferentes, a reação de substituição nucleofílica ou a reação de adição nucleofílica.

A reação de substituição nucleofílica, entre um corante reativo com um grupo à base de triazina e a celulose a pH alcalino, encontra-se evidenciada na figura 15.

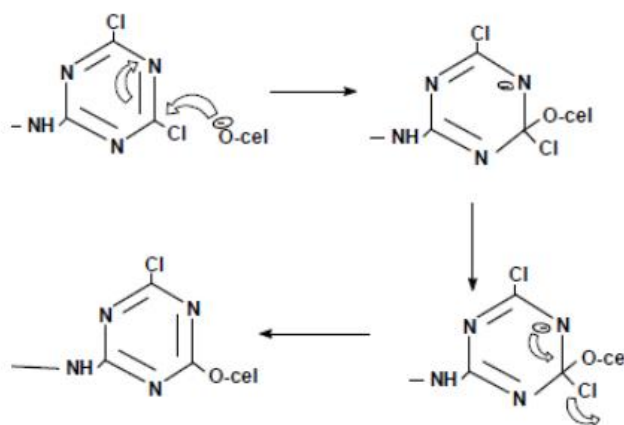


Figura 15 - Reação de substituição nucleofílica Fonte (Gonçalves, 2017)

Os corantes que reagem por adição nucleofílica, fazem-no por adição a uma ligação dupla carbono-carbono polarizada presente no grupo reativo (Antunes, 2019). Este tipo de reação pode dar-se, por exemplo, entre corantes com grupos reativos vinilsulfônicos e a celulose, como se pode ver na figura 16.

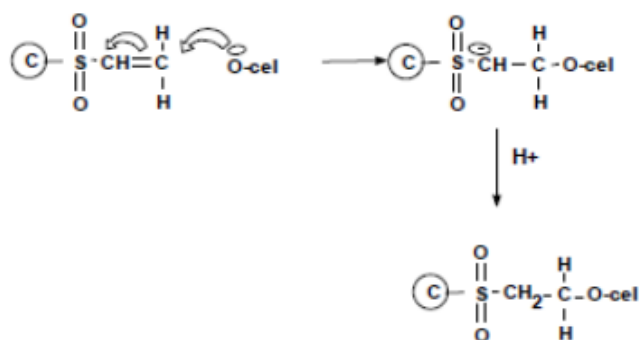


Figura 16 - Reação de adição nucleofílica Fonte (Gonçalves, 2017)

Os corantes reativos também poderão diferir na sua classificação dependendo de algumas das condições do corante que será escolhido para se efetuar o tingimento. Estes corantes são classificados da seguinte maneira:

- Controláveis por álcali – estes tipos de corantes são aplicados num intervalo de temperaturas na ordem dos 40 e 60°C e caracterizam-se por ter esgotamentos baixos em meio neutro. São altamente reativos, o que implica um doseamento cuidadoso dos agentes alcalinos. Neste grupo encontram-se inseridos os corantes com os grupos reativos diclorotriazina, difluorcloropirimidina e vinilsulfónico.
- Controláveis pelo sal – possuem temperaturas de aplicação por volta dos 80°C. Esgotam facilmente a pH neutro e o doseamento do sal será fundamental para controlar a velocidade de tingimento. Não são muito reativos. Neste grupo encontra-se os corantes com os grupos reativos tricloropirimidina e aminoclorotriazina nestes corantes.
- Controláveis pela temperatura – reagem a temperaturas elevadas com a celulose sem a presença de álcali. Estas temperaturas rondam entre os 80 e 100°C.

O corante reativo tem a particularidade de na sua utilização causarem reações secundárias, sendo a mais notória e prejudicial a reação entre o corante e a água, que, em meio alcalino, devido à presença de iões hidróxido em solução, provoca uma hidrólise do corante. Este corante hidrolisado terá de ser removido através de lavagens intensivas, de modo a não criar problemas de solidez (Gonçalves, 2017).

2.4. Cinética do Tingimento

A explicação de como se processa o tingimento com este tipo de corantes é baseada em princípios físico-químicos recorrendo a modelos matemáticos. De todas as etapas do tingimento a que normalmente está mais em foco é a difusão do corante para a fibra, uma vez que é a etapa mais demorada e é nesta fase que se focam a maioria dos modelos matemáticos (Clark, 2011; Gonçalves, 2017).

A cinética do tingimento irá depender do tipo de maquinaria e dos processos utilizados, mas geralmente, a determinação de curvas de esgotamento é essencial para entender a cinética tintorial. Para isso acontecer, é necessário conhecer a concentração do corante presente na fibra ou no banho de tingimento a cada instante do processo (Gonçalves, 2017).

2.4.1. Variáveis que influenciam a cinética do tingimento

As variáveis que influenciam na cinética de tingimento são a temperatura, razão de banho, o pH da solução de tingimento e a concentração de eletrólitos.

Temperatura

Esta variável é diretamente proporcional à velocidade, ou seja, quanto maior for a temperatura mais rápido será o tingimento. No entanto, por norma, temperaturas mais baixas irão causar um esgotamento mais elevado. Assim sendo, a nível fabril é importante haver um compromisso entre a temperatura escolhida para não demorar muito tempo, mas também não ter um esgotamento baixo. Em muitas situações, o aumento gradual da temperatura de tingimento permite controlar a velocidade de esgotamento, eventualmente com o auxílio da adição de produtos químicos, tais como ácidos ou sais.

Razão de banho

Esta variável depende de vários fatores como do processo utilizado e do parque de máquinas disponíveis. A razão de banho relaciona-se com a percentagem de corante esgotado de uma forma inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a razão de banho menor o esgotamento.

pH

Esta variável deve ser ajustada consoante o sistema fibra/corante. O pH vai ter uma influência variável dependendo do sistema fibra-corante. Contudo, o pH deve proporcionar as condições ideais à formação de ligações entre o corante e as fibras, garantindo em simultâneo que a velocidade de tingimento seja a apropriada.

Eletrólitos

A presença desta variável constitui um dos processos mais eficientes para controlar a afinidade dos corantes. O seu efeito depende do corante e das condições de aplicação utilizadas.

2.5. Tingimento de uma mistura Poliéster/Algodão

O algodão presente na mistura pode ser tingido por qualquer um dos corantes utilizados para esta fibra, tais como os corantes diretos, de cuba ou reativos. Neste trabalho, utilizou-se os corantes reativos no tingimento desta mistura. Em relação ao poliéster este vai ser tingido por corantes dispersos. Por norma, estes dois tingimentos ocorrem em separado devido a uma incompatibilidade das condições usadas no tingimento dos dois tipos de matérias-primas.

A fibra de poliéster é, normalmente, a primeira a ser tingida com os corantes dispersos, seguida por um tratamento redutivo num pH alcalino. Este tratamento redutivo tem como objetivo melhorar os índices de solidez do substrato têxtil. Este tratamento tem que obrigatoriamente ser realizado antes do tingimento do algodão de modo a não destruir a cor desse tingimento.

Segue-se então o tingimento da componente celulósica seguida de ensaboamentos para retirar o corante reativo hidrolisado que fica presente no fio e que tem de ser retirado para não influenciar a qualidade dos resultados dos testes de solidez.

O processo mais comum de um tingimento de uma mistura algodão/poliéster pode ser representada como se vê na figura 17.

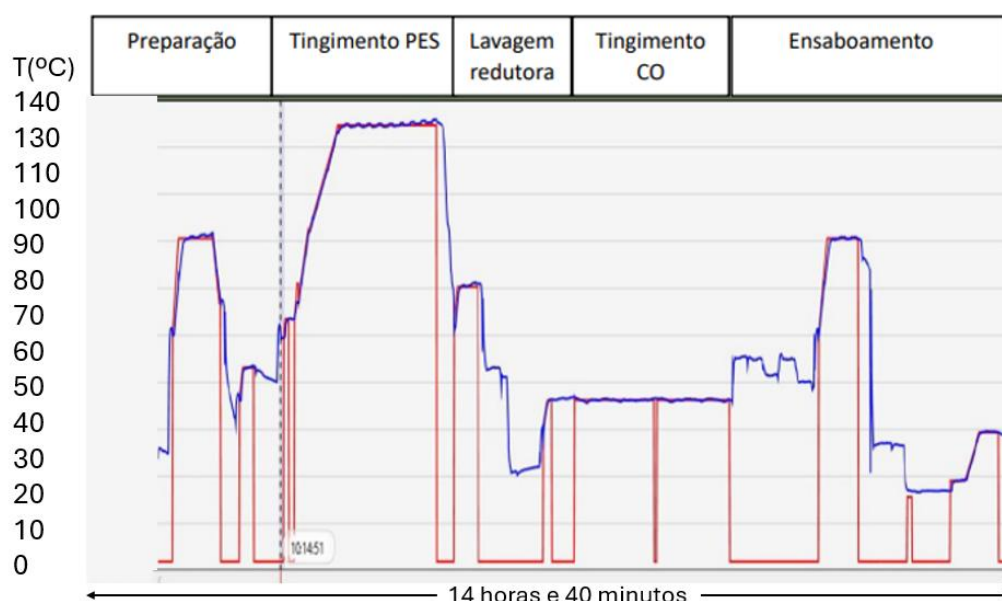


Figura 17 - Processo de tingimento de uma mistura algodão/poliéster

De modo a encurtar o processo existe a possibilidade de tingir as duas fibras num só banho, no entanto devido às incompatibilidades presentes isso dificultaria muito o processo. Nomeadamente, os eletrólitos presentes no tingimento da componente celulósica, nomeadamente o sal, provocam a agregação do corante e o alcali utilizado com corantes de cuba e reativos afetam os corantes dispersos.

Para ultrapassar estas incompatibilidades há algumas opções que podem ser tomadas em relação às variáveis do tingimento. Como, por exemplo, utilizar corantes reativos que por serem muito reativos não precisam de condições alcalinas para reagir com as fibras celulósicas, como é o caso dos Sumifix. O eletrólito deve ser também mais fraco que o sal comum (cloreto de sódio), como por exemplo o sulfato de sódio ou ainda utilizar corantes dispersos que dispensem dum tratamento redutivo. Como exemplo, são os corantes Dispersol XF. Estes são corantes que em cores médias e claras são “limpos” por ação do alcali.

Existem vários métodos num só banho, como por exemplo, o processo de pH deslizante, onde é só efetuado o tingimento numa fase e recorre a um produto que varia o pH de acordo com

a temperatura. Este método, no entanto, não é muito utilizado devido a ser de difícil controlo. Para além disso, apresenta a desvantagem de não ser possível fazer tratamento redutivo porque este iria destruir o corante reativo.

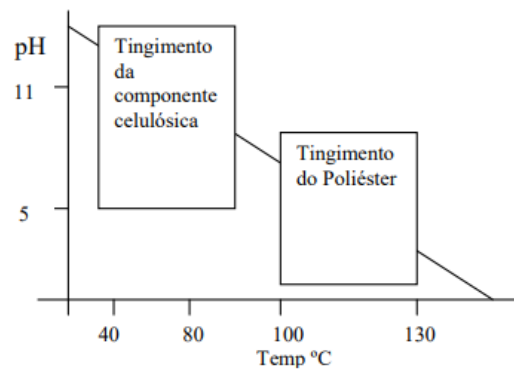


Figura 18 - Processo de pH deslizante

Outro método alternativo é conhecido como método inverso, uma vez que, se inverte a ordem do tingimento normal deste tipo de misturas tingindo, inicialmente o algodão e depois, noutra fase, o poliéster. No entanto, este método é realizado num só banho.

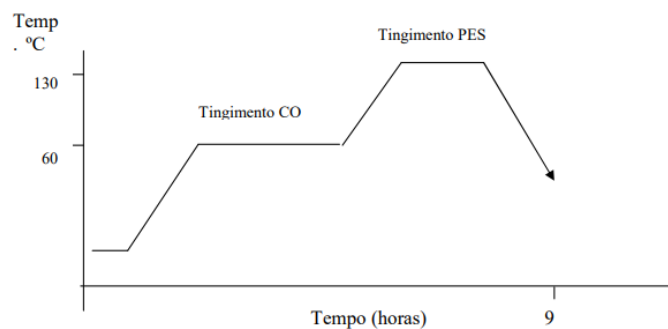


Figura 19 - Processo Inverso

Neste processo também não pode ser feito tratamento redutor pelas mesmas razões do método anterior e tem de se usar corantes reativos resistentes às condições ácidas usadas no tingimento do poliéster.

Por último, nos tingimentos com só um banho, existe ainda o processo direto como se pode ver na figura 20, que apresenta as mesmas desvantagens dos outros processos, ou seja, não é possível fazer o tratamento redutivo.

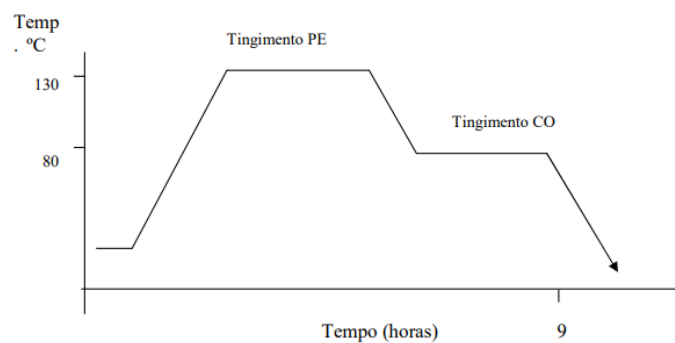


Figura 20 - Processo direto

3. Estado de Arte

Devido à alta competitividade da indústria têxtil e a importância que a sustentabilidade representa no mundo atual é imperativo que se procure reduzir custos de processamento e o consumo de matérias-primas. Mais especificamente, a área da tinturaria aborda esta problemática com especial atenção devido aos altos índices de poluição provenientes dos processos de tingimento.

Por esta razão, ao longo dos anos têm sido desenvolvidos vários estudos que visam otimizar o processo de tingimento de modo a encontrar condições mais favoráveis ao nível de gastos de tempo e recursos. Um dos principais recursos usados em larga quantidade de água o que leva que se procurem várias técnicas de modo a reduzir a quantidade utilizada deste recurso (Knudsen & Wenzel, 1996; Shaikh, 2009). De modo a reduzir a quantidade de energia utilizada e, por consequência, diminuir o investimento monetário neste aspeto, estudou-se a possibilidade de realizar tingimentos a temperaturas baixas (Hossain & AK, 2019). Existe também a possibilidade de aumentar a sustentabilidade no pós-tingimento através do tratamento de efluentes gerados neste processo (Ahmed et al., 2015).

Outras abordagens mais alternativas envolvem a utilização de modelos estatísticos de forma a encontrar as situações ideais de tingimento (Hossain et al., 2016) e o uso de redes neurais artificiais com o objetivo de detetar desvios de qualquer parâmetro envolvido no tingimento (Subhopoto et al., 2019).

Dado que realizar um processo de tingimento envolve várias das variáveis acima mencionadas no estudo, é seguro afirmar que estes trabalhos têm contribuído de forma significativa para otimizar o processo de tingimento.

4. Melhoria de Sustentabilidade

De modo a otimizar a sustentabilidade foram alterados compostos químicos e métodos em relação ao método convencional reduzindo assim o impacto ambiental do processo de tingimento de uma mistura de algodão/poliéster em fio.

A primeira fase do tingimento que foi alterada diz respeito ao tratamento prévio do algodão, uma vez que não foi realizada a fervura alcalina. Como alternativa será testado um produto novo, o *produto A*.

A segunda fase do tingimento a sofrer alterações foi a lavagem redutora. De facto, esta etapa também deixou de ser realizada, uma vez que, na fase de ensaboamento foi utilizado um produto, o *produto B*, que fez com que não fosse necessária a realização deste tratamento redutor. Para além do *produto B*, na fase de ensaboamento, também se utilizou o *produto C*, que teve como função remover o corante reativo hidrolisado. A associação destes 2 produtos tiveram como objetivo, verificar se era possível reduzir o número de banhos nesta fase, mantendo a qualidade do produto final.

Ao serem realizadas estas alterações espera-se uma melhoria na sustentabilidade, uma vez que irão ser utilizados menos produtos químicos nocivos, menos água e menos energia elétrica. Para além disso, o tempo do processo diminuirá e os custos financeiros também.

4.1. Produtos Inovadores

Cada produto utilizado de modo a melhorar a sustentabilidade terá diferentes constituições químicas, diferentes funções, características e propriedades. Daí ser importante a diferenciação e análise em particular de cada um deles. Na tabela 1 está apresentada as particularidades de cada produto estudado.

Tabela 1 – Características dos produtos testados

Nome	Produto A	Produto B	Produto C
Constituição Química	Éter de Poliglicol de álcoois gordos e policarboxilatos	Polímeros heterocíclicos e sulfonatos aromáticos	Polímeros heterocíclicos e Aditivos
Função	Surfactante, sequestrante, dispersante e molhante	Remoção do corante disperso em excesso	Remoção do corante reativo hidrolisado
Características	Líquido	Líquido	Líquido
Cor	Branco ou amarelo	Amarelo ou castanho	Incolor ou amarelo
Odor	Ligeiro	Característico	Ligeiro
Solubilidade	Solúvel em água fria	Solúvel em água fria	Solúvel em água fria
Caracter Iônico	Aniônico	Aniônico	Não Iônico
pH	3,0 – 5,0	7,5-8,5	7,0-9,0
Propriedades	Remoção de gorduras e ceras do algodão	Permite ensaboamento a 80°	Remoção de corante reativo hidrolisado
	Remoção de manchas	Bom ensaboamento de misturas PES/CO	Boa eficiência com poucos ensaboamentos
	Efeito sequestrante	Usa menos banhos	Excelente efeito dispersante
	Variedade de aplicações	Resistente a ácidos, alcali e eletrólitos	Fácil de manusear

4.1.1. Produto A

O produto A tem uma grande capacidade surfactante e de limpeza nos produtos têxteis, nomeadamente naqueles que contém algodão, como é o caso da mistura em estudo. A relação equilibrada de tensioativos não iónicos no produto A, em relação aos elementos hidrofóbicos e hidrofílicos confere ao produto um elevado efeito de molhabilidade, lavagem e emulsificação. Deste modo, este produto tem a capacidade de remover sujidades provenientes do solo e ceras, gorduras e cascas provenientes da fibra do algodão. Com efeito, a capacidade de molhante e limpeza dos surfactantes não iónicos, deve-se à sua estrutura química, que possui extremidades hidrofílicas, que interagem com a água e extremidades hidrofóbicas, que irão interagir com gorduras, óleos e outras impurezas, causando, assim, a sua separação do material fibroso. Pode ainda afirmar-se que, as extremidades hidrofílicas ligam-se às moléculas de água, reduzindo a tensão superficial e permitindo que a água penetre mais facilmente nas superfícies.

Este produto também contém agentes sequestrantes que impedem a formação de depósitos de iões de metais alcalinoterrosos como o cálcio e o magnésio, uma vez que, formam complexos solúveis com esses iões presentes na solução. Garantindo assim, que durante o tingimento, estes iões não causem problemas na relação de afinidade entre fibra e banho de tingimento e que não existam manchamentos.

Em termos de compatibilidade este produto não poderá ser usado em conjunto com produtos catiónicos por que irá causar precipitações. Apesar de não ser constituído por enzimas, este produto poderá ser usado em qualquer processo enzimático uma vez que, não provoca toxicidade nas enzimas. No entanto, não há qualquer impedimento em usar este produto com compostos aniónicos e não iónicos. Em relação à estabilidade do produto, este apresenta resistência a ácidos, produtos alcalinos, eletrólitos e a águas duras.

Em termos de sustentabilidade, este produto apresenta uma vantagem significativa no que diz respeito à quantidade de água utilizada. Devido às suas propriedades químicas e ao bom desempenho de limpeza e de molhante, a utilização deste produto é adequada ao tratamento prévio do algodão em um só banho.

Este produto também apresenta algumas desvantagens, estando estas relacionadas com o facto de ser um produto químico potencialmente perigoso. Este produto em contacto com a pele causa irritação e em contacto com os olhos pode causar danos severos.



Figura 21 - Pictograma de sinal de perigo

4.1.2. Produto B

O Produto B é um reagente auxiliar para misturas de PES/CO que possui a capacidade de remover o excesso de corantes dispersos após o tingimento. A introdução deste produto permite a eliminação da etapa lavagem redutora e permite uma diminuição no número total de banhos de ensaboamento necessários. Contrariamente à lavagem redutora, este produto não é aplicado antes do tingimento da parte celulósica do substrato têxtil. A introdução deste produto será apenas na fase do ensaboamento após toda a mistura estar tingida. Na maioria das cores será apenas necessário um banho de ensaboamento a temperaturas mais elevadas (80-95°C). No entanto em tonalidades mais escuras pode ser necessário um segundo banho de ensaboamento a essas temperaturas.

Em termos de compatibilidade este produto pode ser usado em conjunto com compostos aniónicos e não iónicos. Em alguns casos, produtos catiónicos podem causar precipitados. Tal como o produto A, este produto é resistente a ácidos, produtos alcalinos, eletrólitos e a águas duras.

Devido à diminuição considerável no número total de banhos de ensaboamento, este produto apresenta diversas vantagens em termos ecológicos, permitindo assim um processo de tingimento mais sustentável. A introdução deste produto permite diminuir gastos de água, energia elétrica, tempo, produtos químicos e custos financeiros.



Figura 22 – Representação figurativa de vantagens do produto

4.1.3. Produto C

O produto C tem como principal objetivo remover o corante reativo hidrolisado presente no tingimento de uma mistura PES/CO. Esses corantes podem afetar a uniformidade e a qualidade da cor final. Deste modo, é aplicado na fase de ensaboamento com esse propósito. Este produto tem a capacidade de remover o corante hidrolisado por possuir uma alta afinidade com mais ele e na maioria dos casos é apenas necessário um banho de ensaboamento a temperaturas mais elevadas. A exceção serão tonalidades com cores mais intensas onde pode ser necessário um segundo banho para garantir bons índices de solidez. Para além destas vantagens, ainda permite que não ocorra aglomeração de corante nas bobinas utilizadas.

Em termos de compatibilidade este produto pode ser usado em conjunto com compostos aniônicos, não iônicos e catiónicos. E em relação à estabilidade este produto é resistente a ácidos fracos, produtos alcalinos, eletrólitos e a águas duras.

O modo de ação deste produto baseia-se em transformar o corante hidrolisado presente no substrato têxtil em sais solúveis em água através de substâncias dispersantes e solúveis que têm na sua constituição. Estas partículas após serem transformadas em sais solúveis permanecem no banho de ensaboamento, evitando assim uma nova adesão ao material têxtil.

5. Materiais e Métodos

De modo a testar os produtos inovadores escolheu-se uma cor com representatividade na produção da empresa onde o estágio foi realizado, um vermelho, que no ano de 2023 foi tingido em 40 toneladas de fio que na sua composição tinham 50% de algodão e 50% de poliéster. Outra razão para esta ser a cor escolhida foi , esta cor em particular, ser complicada de reproduzir com bons resultados de solidez.

Para o desenvolvimento deste trabalho serão necessárias várias etapas. Inicialmente, será necessário realizar o método convencional e o primeiro ensaio do método alternativo. Como o método alternativo não apresentou os resultados desejados foram então feitos ajustes até conseguirmos obter um ensaio, com os novos produtos, que apresente vantagens ao nível da sustentabilidade, mas que também conjugue com esse lado positivo da sustentabilidade, a manutenção de bons resultados de controlo de qualidade.

5.1. Materiais e Equipamentos

De modo a desenvolver o presente trabalho, foram necessários vários materiais e reagentes para a concretização de todo o processo experimental. Assim, utilizou-se um fio 50% Algodão/50% PES que foi disponibilizado pela empresa onde o estágio foi realizado.

Os corantes e reagentes usados nos tingimentos foram os seguintes:

- Corantes reativos Amarelo Levafic CA, Vermelho Levafix CA e Azul Levafix CA;
- Corantes dispersos Escarlata Dianix XF, Laranja Fantagen 3G-SD, Vermelho Dianix SF;
- Kieralon MRZ;
- Soda caustica a 50%;
- Plexene EXT;
- Levegal DLP;

- Sera gal P-LP;
- Ácido acético;
- Acetato de sódio;
- Sera com P-NR;
- Sera foam M-EO;
- Osimol NU-N;
- Praux RDB;
- Sirrix NE;
- Quitest 1096-E;
- Carbonato de sódio;
- Sera Sperse M-IS;
- Dekol SN 100;
- Rucofil;
- Sal industrial;
- Produto A;
- Produto B;
- Produto C;

Para os testes de controlo de qualidade foram utilizados os seguintes reagentes e materiais:

- Detergente ECE;
- Perborato de sódio tetrahidratado;
- Água destilada;
- Tabuleiro de rede para secagem de amostras;
- Placas de Petri;
- Esferas de aço inoxidável com 6mm de diâmetro;
- Testemunho de algodão *rubbing*;
- Tecido testemunho multifibra;
- Escala de cinzentos de manchamentos e de alteração de cor;
- Verivide.

Os equipamentos utilizados para efetuar os ensaios de controlo de qualidade encontram-se evidenciados de seguida:

- Balança analítica;
- Estufa;
- *Gyrowash*;
- *Crockmeter*;
- *Verivide*.

O equipamento, materiais, corantes e os reagentes auxiliares foram disponibilizados pela empresa onde o estágio foi realizado.

5.2 Metodologia

Este trabalho teve uma componente experimental muito extensa, sendo cada passo fundamental para um tingimento bem conseguido e para bons resultados de sustentabilidade no método alternativo. Desta forma, são descritos os passos percorridos em cada uma destas etapas, desde o método convencional, até aos resultados de controlo de qualidade que permitirão comparar o sucesso ou insucesso do teste experimental.

5.2.1. Metodologia dos Ensaios

Neste subcapítulo estarão apresentados detalhadamente os diferentes métodos de tingimento em fio de uma mistura PES/CO testados. Estes métodos são o método convencional e 3 ensaios alternativos na busca de uma otimização no que toca à sustentabilidade e à qualidade final do produto.

5.2.1.1. Método Convencional

O método convencional percorrerá 6 etapas até ser dado como concluído. Estas serão, por ordem, o tratamento prévio do algodão, o tingimento do poliéster, a lavagem redutora, o tingimento do algodão, o ensaboamento e o acabamento.

1ª Etapa – Tratamento prévio do Algodão (Fervura Alcalina)

O tratamento prévio do algodão pode ser efetuado utilizando diferentes processos até se atingir as garantias necessárias para que o substrato têxtil esteja devidamente preparado para absorver o corante de forma uniforme. Devido aos produtos utilizados, equipamentos disponíveis e resultados apresentados ao longo de vários anos, decidiu-se que o único processo necessário e utilizado convencionalmente no tingimento de todas as cores é a fervura alcalina, uma vez que, com a utilização deste processo conseguiu-se sempre apresentar a cor ao cliente com resultados qualitativos aceitáveis. Demonstrando, ser assim, a melhor preparação no que diz respeito ao custo-benefício de misturas em fio PES/CO.

Deste modo, a primeira etapa será então a fervura alcalina que necessitará dos reagentes apresentados na tabela 2. Os consumos de água e energia elétrica encontram-se apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 2 - Reagentes utilizados na Fervura Alcalina (Método Convencional)

Reagentes	Função	Quantidade (g/L)
Kieralon MRZ	Agente surfactante, de limpeza e complexante	0,5
Soda Cáustica	Tem como objetivo promover o inchamento e a dissolução dos resíduos vegetais não removidos no decorrer do processo de fiação e saponificar gorduras e ceras.	0,7
Plexene Ext	Desmineralização das impurezas das fibras celulósicas (Sequestrante)	0,25

Tabela 3 - Quantidade de água utilizada na Fervura Alcalina (Método Convencional)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	3	2100

Tabela 4 - Quantidade de energia elétrica gasta na Fervura Alcalina (Método Convencional)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura inicial (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	100	0,3276

O gráfico teórico deste processo de fervura alcalina está presente abaixo na figura 23.

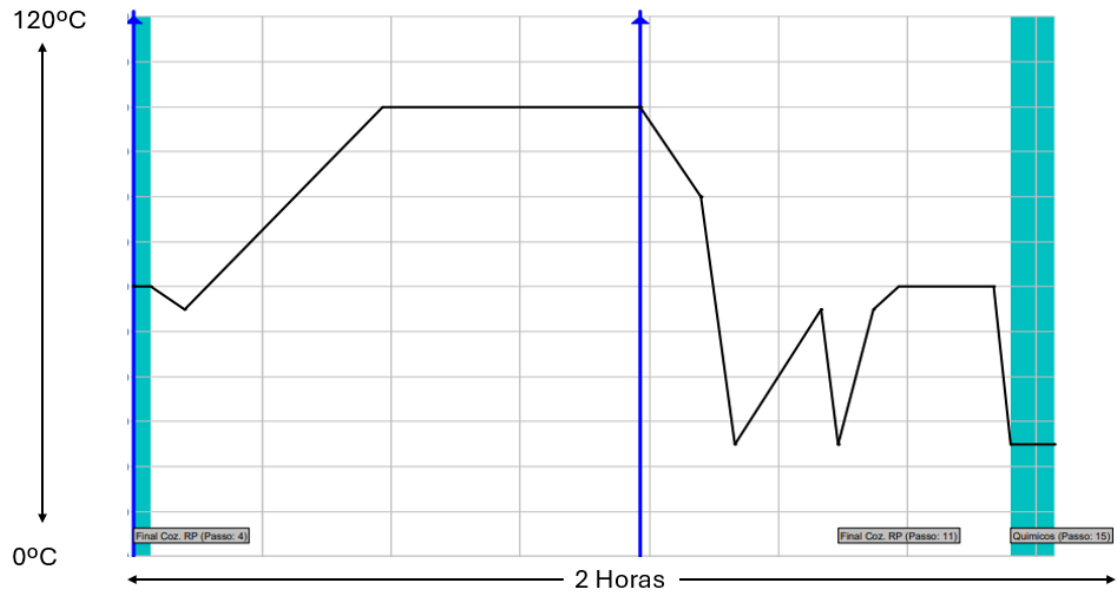


Figura 23 - Gráfico teórico do gradiente da Fervura Alcalina (Método Convencional)

2ª Etapa - Tingimento do Poliéster

A segunda etapa a realizar-se é o tingimento da componente sintética do fio e os reagentes utilizados, assim como os gastos de água e energia elétrica, encontram-se apresentados nas tabelas 5, 6 e 7, respetivamente.

Tabela 5 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Convencional)

Reagentes	Função	Quantidade
Levegal DLP	Igualizar o corante pelo fio	0,5%
Sera Gal P-LP		0,5 g/L
Ácido Acético	Tamponizar o pH entre 5-5.5	0,6 g/L
Acetato de sódio		0,5 g/L
Sera Com P-NR	Agente oxidante para tingimentos a altas temperaturas	1,8%
Sera Foam M-EO	Agente antiespuma	0,27 g/L
Escarlate Dianix XF	Corantes	0,6%
Laranja Fantagen 3G-SD		0,25%
Vermelho Intenso Dianix SF		0,72%

Tabela 6 - Quantidade de água utilizada no Tingimento do PES (Método Convencional)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Tabela 7 - Quantidade de energia elétrica utilizada no Tingimento do PES (Método Convencional)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	135	0,61425

O processo de tingimento do poliéster utilizando estes corantes decorre da seguinte forma:

De 75°C a 103°C: o aumento ocorre a uma taxa de 2,2°C/min;

De 103°C a 135°C: o aumento ocorre a uma taxa de 1,1°C/min;

Posteriormente a temperatura é mantida a 135°C por 1h 30min (90 minutos).

Estes dados vão resultar na curva de tingimento apresentada na figura 24.

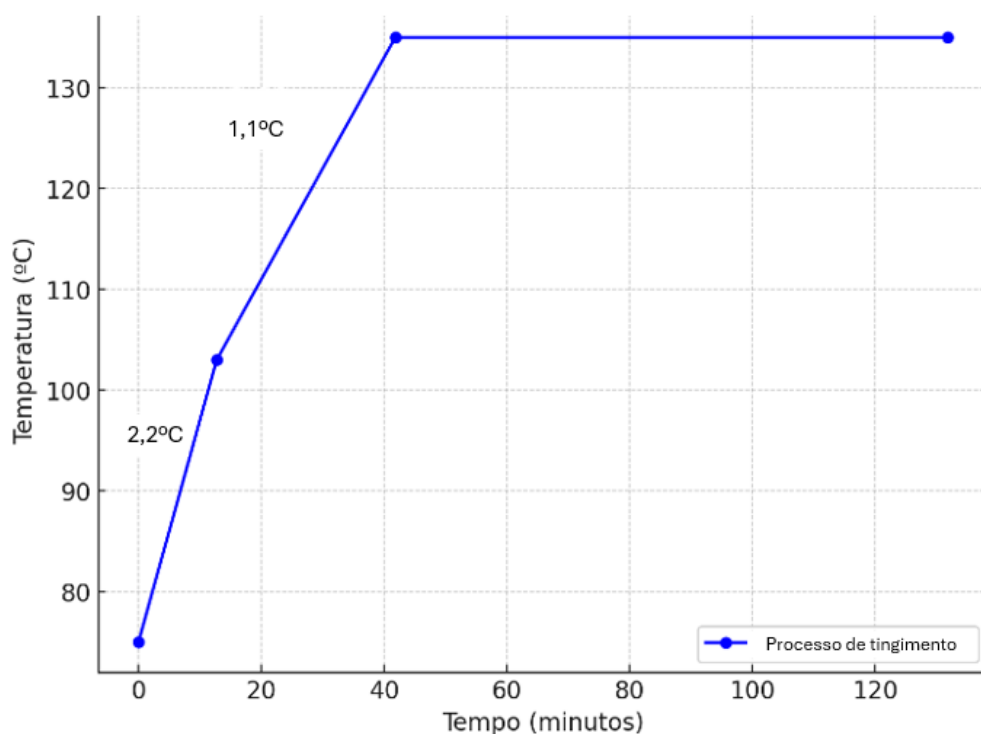


Figura 24 – Processo de tingimento teórico do PES

3ª Etapa - Lavagem redutora

A terceira etapa consiste na lavagem redutora e os reagentes utilizados, assim como, os consumos da água encontram-se apresentados nas tabelas 8 e 9 ,respetivamente.

Tabela 8 - Reagentes utilizados na lavagem redutora (Método Convencional)

Reagente	Função	Quantidade
Osimol NU-N	Catalisador	0,3%
Soda cáustica liq50%	Remoção do corante não absorvido	6,0 g/L

Praux RDB	Agente Redutor	0,5 g/L
Sirrix NE	Neutralizador	0,22 g/L

Tabela 9 - Quantidade de água utilizada na lavagem redutora (Método Convencional)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	4	2800

4ª Etapa - Tingimento do algodão

A quarta etapa será o tingimento da componente celulósica do fio e os reagentes usados assim como o consumo da água estão apresentados nas tabelas 10 e 11, respetivamente.

Tabela 10 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Convencional)

Reagente	Função	Quantidade
Vermelho Levafix CA	Corante	3,3%
Amarelo Levafix CA		0,9%
Azul Levafix CA		0,007%
Carbonato de sódio	Auxiliar a fixação o corante	4 g/L
Levegal RL	Igualizador	0,3 g/L
Quitest 1096-E	Agente dispersante e complexante	0,2 g/L
Sal Industrial	Auxiliar a adsorção para a fibra têxtil	80 g/L
Soda cáustica	Auxiliar a fixação do corante	2,5 g/L

Tabela 11 - Quantidade de água utilizado no Tingimento do CO (Método Convencional)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

O processo de tingimento do algodão utilizado é um tingimento isotérmico a 50°C durante 3 horas.

5ª Etapa - Ensaboamento

A quinta etapa é o ensaboamento e é utilizada para retirar o corante reativo hidrolisado do fio. Durante esta etapa serão usados banhos a diferentes temperaturas, um banho a 95°, dois a 80° e quatro com água fria.

Os reagentes usados na etapa do ensaboamento, assim como ,os consumos de água e de energia elétrica estão evidenciados nas tabelas 12, 13 e 14, respetivamente.

Tabela 12 - Reagentes utilizados no ensaboamento (Método Convencional)

Reagente	Função	Quantidade
Sera Sperse M-IS	Agente dispersante aniónico para corantes dispersos e corantes com complexos metálicos	0,5%
Dekol SN 100	Agente dispersante e sequestrante	1 %

Tabela 13 - Quantidade de água utilizado no Ensaboamento (Método Convencional)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	7	4900

Tabela 14 - Quantidade de energia elétrica utilizada no Ensaboamento (Método Convencional)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	95	0,28665
	60	80	0,3276

6ª Etapa - Acabamento

A última etapa a ser realizada é o acabamento e o reagente utilizado e o consumo da água são apresentados nas tabelas 15 e 16, respetivamente.

Tabela 15 - Reagente utilizado no acabamento (Método Convencional)

Reagente	Função	Quantidade
Rucofil	Diminuir o atrito do fio	3%

Tabela 16 - Quantidade de água utilizada no Acabamento (Método Convencional)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Processo completo do método convencional

O processo completo após ultrapassadas as etapas descritas anteriormente, está descrito na figura 25.

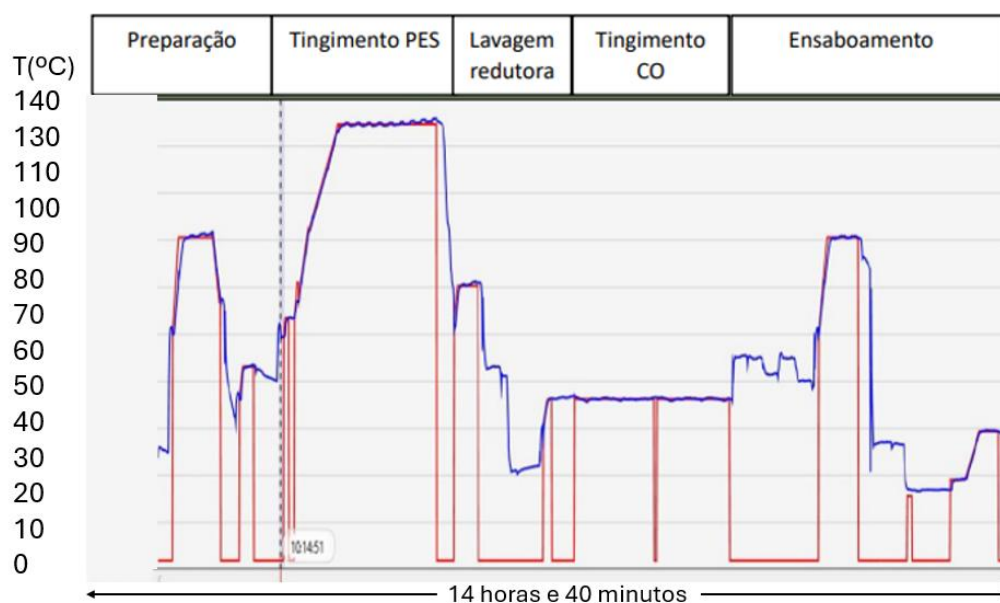


Figura 25 - Processo de tingimento em fio de uma mistura 50:50 PES/CO

5.2.1.2. Método Alternativo – Ensaio 1

O ensaio alternativo possui diferenças significativas em relação ao método convencional. Neste ensaio foi introduzido pela primeira vez o produto inovador Produto A na fase de tratamento prévio, em detrimento da fervura alcalina. Para além desta alteração, também se retirou a fase processual da lavagem redutora.

Assim sendo, o primeiro ensaio do método alternativo é constituído por seis etapas. Estas serão, por ordem, o tratamento prévio alternativo do algodão, o tingimento do poliéster, o tingimento do algodão, o ensaboamento e o acabamento.

1ª Etapa – Tratamento prévio alternativo do algodão

A primeira etapa será então a alternativa à fervura alcalina. O reagente usado e o consumo da água estão apresentados nas tabelas 17 e 18, respetivamente.

Tabela 17 - Reagente utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 1)

Reagente	Função	Quantidade
Produto A	Surfactante, sequestrante, dispersante e molhante	0,5%

Tabela 18 - Quantidade de água utilizada no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Ao contrário da fervura alcalina, este tratamento prévio decorre durante 15 minutos a 60°C, como representado na figura 21. No entanto devido à temperatura da água fornecida à secção ser de 60°C, não será necessária uma fase de aquecimento do banho.

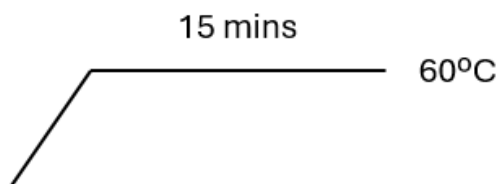


Figura 26 - Processo utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 1)

2ª Etapa – Tingimento do poliéster

A segunda diz respeito ao tingimento do poliéster presente no fio e foram utilizados os reagentes assinalados na tabela 19.

Tabela 19 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 1)

Reagentes	Função	Quantidade
Levegal DLP	Igualizar o corante pelo fio	0,5%
Sera Gal P-LP		0,5 g/L
Ácido Acético	Tamponizar o pH entre 5-5.5	0,6 g/L
Acetato de sódio		0,5 g/L
Sera Com P-NR	Agente oxidante para tingimentos a altas temperaturas	1,8%
Sera Foam M-EO	Agente antiespuma	0,27 g/L
Escarlate Dianix XF	Corante	0,6%
Laranja Fantagen 3G-SD		0,25%
Vermelho Intenso Dianix SF		0,72%

Durante a realização desta fase do processo serão gastas as quantidades de água e energia elétrica representadas nas tabelas 20 e 21, respetivamente.

Tabela 20 - Quantidade de água utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Tabela 21 - Quantidade de energia elétrica utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura inicial (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	135	0,61425

Em relação ao processo em si, este terá a mesma duração e gradientes do tingimento efetuado para o método convencional.

3ª Etapa - Tingimento do algodão

A terceira etapa consiste no tingimento da componente celulósica do fio e os reagentes e a quantidade de água utilizados encontram-se evidenciados nas tabelas 25 e 26, respetivamente.

Tabela 22 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 1)

Reagente	Função	Quantidade
Vermelho Levafix CA	Corante	3,3%
Amarelo Levafix CA		0,9%
Azul Levafix CA		0,007%
Carbonato de sódio	Auxiliar a fixação o corante	4 g/L
Levegal RL	Igualizador	0,3 g/L
Quitest 1096-E	Agente dispersante e complexante	0,2 g/L
Sal Industrial	Auxiliar a adsorção para a fibra têxtil	80 g/L
Soda cáustica	Auxiliar a fixação do corante	2,5 g/L

Tabela 23 - Quantidade de água utilizada no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

O processo de tingimento do algodão utilizado é um tingimento isotérmico a 50°C durante 3 horas.

4ª Etapa – Ensaboamento

A quarta etapa é o ensaboamento e é utilizada para retirar o corante reativo hidrolisado do fio. Durante esta etapa serão usados banhos a diferentes temperaturas, um banho a 95°, dois a 80° e quatro com água fria.

Os reagentes utilizados na etapa do ensaboamento são evidenciados nas tabelas 27. Os gastos de água e energia elétrica consumidos na etapa do ensaboamento estão ilustrados nas tabelas 28 e 29.

Tabela 24 - Reagentes utilizados no ensaboamento (Método Alternativo - Ensaio 1)

Reagente	Função	Quantidade
Sera Sperse M-IS	Agente dispersante aniônico para corantes dispersos e corantes com complexos metálicos	0,5%
Dekol SN 100	Agente dispersante e sequestrante	1 %

Tabela 25 - Quantidade de água utilizada no ensaboamento (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	7	4900

Tabela 26 - Quantidade de energia elétrica utilizada no ensaboamento (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	95	0,28665
	60	80	0,3276

5ª Etapa – Acabamento

A última etapa a ser realizada é o acabamento e o reagente utilizado assim como os gastos de água encontram-se apresentadas nas tabelas 30 e 31, respetivamente.

Tabela 27 - Reagente utilizado no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 1)

Reagente	Função	Quantidade
Rucofil	Diminuir o atrito do fio	3%

Tabela 28 - Quantidade de água utilizada no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 1)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

5.2.1.3. Método Alternativo – Ensaio 2

O ensaio alternativo número 2 será o primeiro ensaio a utilizar a totalidade dos produtos inovadores. Tal como no ensaio 1, o Produto A foi introduzido no lugar da fervura alcalina. O Produto B e o Produto C foram introduzidos na fase de ensaboamento de modo a retirar o corante disperso em excesso e o corante reativo hidrolisado, respetivamente. Devido à expectativa que o Produto B retire o corante disperso em excesso, a fase da lavagem redutora não fará parte deste processo. Por fim, contrariamente aos ensaios descritos anteriormente, este ensaio terá um número menor de banhos na fase de ensaboamento de modo a maximizar a redução de água utilizada.

Deste modo, o método alternativo no segundo ensaio é constituído por cinco etapas. Estas serão, por ordem, o tratamento prévio alternativo do algodão, o tingimento do poliéster, o tingimento do algodão, o ensaboamento e o acabamento.

1ª Etapa – Tratamento prévio alternativo do Algodão

A primeira etapa será então a alternativa à fervura alcalina. O tratamento necessita do reagente e do consumo de água apresentados nas tabelas 32 e 33, respetivamente.

Tabela 29 - Reagente utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 2)

Reagente	Função	Quantidade
Produto A	Surfactante, sequestrante, dispersante e molhante	0,5%

Tabela 30 - Quantidade de água utilizada no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

O processo utilizado será igual ao Ensaio 1 em termos de duração e temperatura.

2ª Etapa – Tingimento da componente sintética

A segunda etapa será o tingimento do poliéster presente no fio. Os reagentes utilizados estão evidenciados na tabela 34.

Tabela 31 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 2)

Reagentes	Função	Quantidade
Levegal DLP	Igualizar o corante pelo fio	0,5%
Sera Gal P-LP		0,5 g/L
Ácido Acético	Tamponizar o pH entre 5-5.5	0,6 g/L
Acetato de sódio		0,5 g/L
Sera Com P-NR	Agente oxidante para tingimentos a altas temperaturas	1,8%
Sera Foam M-EO	Agente antiespuma	0,27 g/L
Escarlate Dianix XF	Corante	0,6%
Laranja Fantagen 3G-SD		0,25%
Vermelho Intenso Dianix SF		0,72%

Durante a realização desta fase do processo serão gastas as quantidades de água e energia elétrica representadas nas tabelas 35 e 36 , respetivamente.

Tabela 32 - Quantidade de água utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Tabela 33 - Quantidade de energia elétrica utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura inicial (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	135	0,61425

O processo em termos de duração, gradiente e temperatura será igual aos ensaios anteriores.

3ª Etapa - Tingimento do algodão

A terceira etapa consiste no tingimento da componente celulósica do fio e os reagentes utilizados assim como, a quantidade de água gasta, encontram-se apresentados nas tabelas 37 e 38, respetivamente.

Tabela 34 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 2)

Reagente	Função	Quantidade
Vermelho Levafix CA	Corante	3,3%
Amarelo Levafix CA		0,9%
Azul Levafix CA		0,007%
Carbonato de sódio	Auxiliar a fixação o corante	4 g/L
Levegal RL	Igualizador	0,3 g/L
Quitest 1096-E	Agente dispersante e complexante	0,2 g/L
Sal Industrial	Auxiliar a adsorção para a fibra têxtil	80 g/L
Soda cáustica	Auxiliar a fixação do corante	2,5 g/L

Tabela 35 - Quantidade de água utilizada no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Em relação à duração e temperatura será igual aos ensaios anteriores.

4ª Etapa – Ensaboamento Alternativo

Pela primeira vez nos ensaios alternativos, foi utilizado o ensaboamento alternativo. Este teve somente 2 banhos, um realizado a 80° e outro a 95°. Para além desta diferença implementada no tratamento, foram utilizados os produtos B e C.

Nas tabelas 39, 40 e 41 é possível observar os reagentes usados e os gastos de água e energia elétrica, respetivamente.

Tabela 36 - Reagentes utilizados no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 2)

Reagente	Função	Quantidade
Produto C	Remover o corante reativo hidrolisado	1%
Produto B	Remover o corante disperso em excesso	1%

Na etapa de ensaboamento o pH inicial é de 7-9.

Tabela 37 - Quantidade de água utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	2	1400

Tabela 38 - Quantidade de energia elétrica utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	95	0,28665
	60	80	0,1638

5ª Etapa – Acabamento

A última etapa a ser realizada é o acabamento e o reagente assim como os gastos de água estão ilustrados nas tabelas 42 e 43, respectivamente.

Tabela 39 - Reagente utilizado no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 2)

Reagente	Função	Quantidade
Rucofil	Diminuir o atrito do fio	3%

Tabela 40 - Quantidade de água utilizada no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 2)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

5.2.1.4. Método Alternativo - Ensaio 3

O ensaio alternativo número 3 será bastante semelhante ao ensaio alternativo número 2. Este também testará todos os produtos inovadores utilizando condições iguais aos do ensaio anterior. No entanto, de modo preventivo, terá um número de banhos de ensaboamento superior de modo a garantir melhores resultados de solidez. Sacrificando assim, ligeiramente, a sustentabilidade de água, em prol de melhores resultados qualitativos.

Sendo assim, este ensaio é constituído por 5 etapas. Estas etapas serão, por ordem, o tratamento prévio alternativo do algodão, o tingimento do poliéster, o tingimento do algodão, o ensaboamento e o acabamento.

1ª Etapa – Tratamento prévio alternativo do Algodão

A primeira etapa será então a alternativa à fervura alcalina que necessitará do reagente e da quantidade de água apresentados nas tabelas 44 e 45, respetivamente.

Tabela 41 - Reagente utilizado no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 3)

Reagente	Função	Quantidade
Produto A	Surfactante, sequestrante, dispersante e molhante	0,5%

Tabela 42 - Quantidade de água utilizada no tratamento prévio (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Em relação à temperatura e duração do processo, estes serão iguais aos métodos alternativos anteriores.

2ª Etapa – Tingimento da componente sintética

A segunda etapa será o tingimento do poliéster presente no fio e utiliza os reagentes utilizados na tabela 46.

Tabela 43 - Reagentes utilizados no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 3)

Reagentes	Função	Quantidade
Levegal DLP	Igualizar o corante pelo fio	0,5%
Sera Gal P-LP		0,5 g/L
Ácido Acético	Tamponizar o pH entre 5-5.5	0,6 g/L
Acetato de sódio		0,5 g/L
Sera Com P-NR	Agente oxidante para tingimentos a altas temperaturas	1,8%
Sera Foam M-EO	Agente antiespuma	0,27 g/L
Escarlate Dianix XF	Corante	0,6%
Laranja Fantagen 3G-SD		0,25%
Vermelho Intenso Dianix SF		0,72%

Durante a realização desta fase do processo convencional serão gastas as quantidades de água e energia elétrica apresentadas nas tabelas 47 e 48, respetivamente.

Tabela 44 - Quantidade de água utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

Tabela 45 - Quantidade de energia elétrica utilizada no tingimento do poliéster (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura inicial (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	135	0,61425

O processo em termos de duração, gradiente e temperatura será igual aos ensaios anteriores.

3ª Etapa - Tingimento do algodão

A terceira etapa corresponde ao tingimento da componente celulósica do fio e os reagentes utilizados assim como, os gastos de água são apresentados nas tabelas 49 e 50, respetivamente.

Tabela 46 - Reagentes utilizados no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 3)

Reagente	Função	Quantidade
Vermelho Levafix CA	Corante	3,3%
Amarelo Levafix CA		0,9%
Azul Levafix CA		0,007%
Carbonato de sódio	Auxiliar a fixação o corante	4 g/L
Levegal RL	Igualizador	0,3 g/L
Quitest 1096-E	Agente dispersante e complexante	0,2 g/L
Sal Industrial	Auxiliar a adsorção para a fibra têxtil	80 g/L
Soda cáustica	Auxiliar a fixação do corante	2,5 g/L

Tabela 47 - Quantidade de água utilizada no tingimento do algodão (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

O processo em termos de duração, gradiente e temperatura será igual aos anteriores.

4ª Etapa – Ensaboamento Alternativo

Nesta etapa recorreu-se a quatro banhos, um realizado a 80°, um realizado a 95° e dois realizados a água fria. Para além da diferença neste aspeto, este método também utilizou os produtos B e C tal como no processo anterior.

Nas tabelas 51, 52 e 53 é possível verificar os reagentes, os gastos de água e de energia elétrica, respetivamente.

Tabela 48 - Reagentes utilizados no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 3)

Reagente	Função	Quantidade
Produto C	Remover o corante reativo hidrolisado	1%
Produto B	Remover o corante disperso em excesso	1%

Tabela 49 - Quantidade de água utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	4	2800

Tabela 50 - Quantidade de energia elétrica utilizada no ensaboamento alternativo (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos em energia elétrica	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Consumo de energia (Kw)
	60	95	0,28665
	60	80	0,1638

5ª Etapa – Acabamento

A última etapa a ser realizada é o acabamento e o reagente utilizado assim como, a quantidade de água gasta encontra-se apresentada nas tabelas 54 e 55.

Tabela 51 - Reagente utilizado no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 3)

Reagente	Função	Quantidade
Rucofil	Diminuir o atrito do fio	3%

Tabela 52 - Quantidade de água utilizada no acabamento (Método Alternativo - Ensaio 3)

Gastos de água	Número total de banhos	Quantidade total (L)
	1	700

5.2.2 Avaliação da solidez dos tintos das amostras têxteis

De forma a avaliar a eficácia dos processos efetuados, procedeu-se à avaliação da solidez dos tintos à água e solidez à fricção a seco e a húmido. Neste subcapítulo serão apresentados detalhadamente os testes de acordo com as respetivas normas internacionais que serão indicadas nos pontos seguintes. É importante referir que, no caso de solidez à água utilizou-se um método interno adotado pela empresa.

Apesar de ser possível avaliar a solidez dos tintos em fio, devido à maior facilidade de execução destes métodos em tecido, decidiu-se tecer o fio tingido para cada um dos testes realizados. Estes estarão dispostos, por ordem, num boletim de ensaios.

5.2.2.1. Avaliação da solidez à lavagem doméstica industrial

Os ensaios de solidez à lavagem doméstica e industrial foram efetuados numa máquina modelo Gyrowash – Heals of halifax 315/8, de acordo com a norma NP EN ISO 105 C06. Sendo que o ensaio selecionado a realizar foi o E2S.

Para preparar a amostra, retirou-se uma porção do tecido tingido para testar. De seguida distribuiu-se a amostra a testar sobre o testemunho multifibra (figura 28), de modo a preencher toda a sua dimensão.



Figura 27 - Tecido testemunho multifibra

De seguida, inseriu-se o provete composto, numa solução de detergente ECE (4g/L), com um volume de banho 50 mL, a uma temperatura de 95°C, durante 30 minutos, com 25 esferas metálicas e ajustado a um pH de $10,5 \pm 0,1$.

É importante referir que a escolha do ensaio de solidez à lavagem doméstica industrial se deve ao facto de ser efetuada na empresa, com condições padronizadas em todos os tingimentos. A razão da escolha de temperatura mais drástica para a execução deste método é um pedido específico do cliente devido à finalidade que ele pretende para o produto final.

As alterações de cor dos provetes foram avaliadas, atribuindo índices de solidez com recurso a uma escala de cinzentos, na cabine de luz (*verivide*), sob o iluminante D65, de acordo com a norma ISSO 105-A02. Os manchamentos dos testemunhos multifibra foram avaliados com recurso a uma escala de cinzentos, no *verivide*, sob o iluminante D65, de acordo com a norma ISO 105-A03. As escalas de cinzentos encontram-se evidenciadas nas figuras 29 e 30:

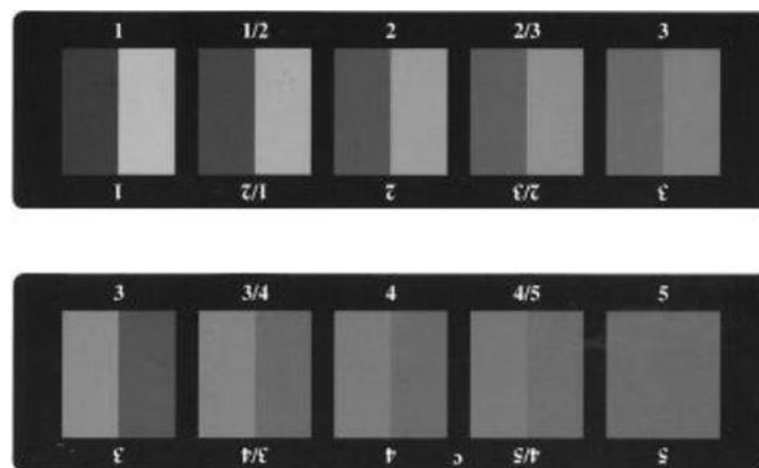


Figura 28 - Escala de cinzentos para avaliação da alteração de cor segundo a norma ISO 105-A02.

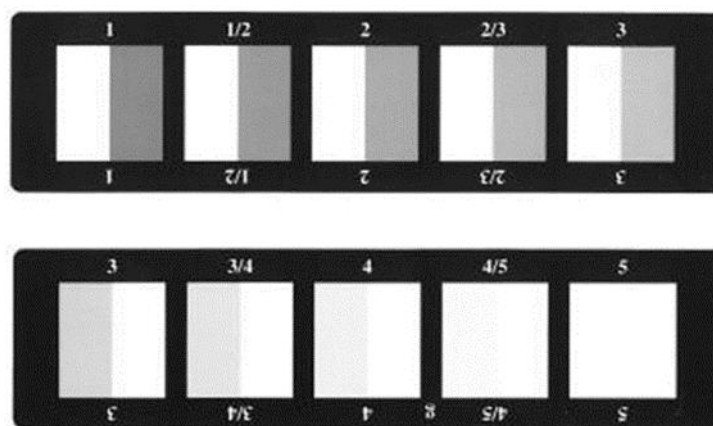


Figura 29 - Escala de cinzentos para avaliação do manchamento segundo a norma ISO 105-A03

5.2.2.2. Solidez à água

Os ensaios de solidez à água foram realizados de acordo com um procedimento interno adotado pela empresa. A preparação das amostras foi efetuada de acordo com as etapas ilustradas nos pontos seguintes:

1. Retirou-se uma porção de tecido para testar;
2. Utilizou-se uma amostra de tecido testemunho multifibra com as dimensões 100X50 mm;
3. Cortou-se o tecido testemunho multifibra a meio a meio com as dimensões de 50x50mm, tal como se encontra evidenciado na figura 31.

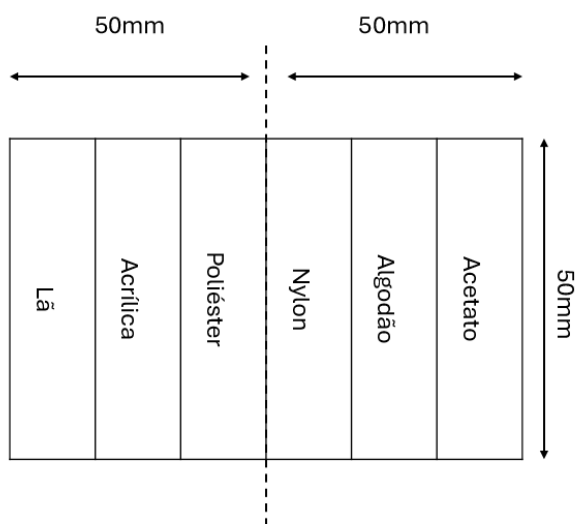


Figura 30 - Corte do tecido testemunha multifibra

4. Distribuiu-se a amostra a testar sobre uma das amostras de tecido testemunho multifibra de modo a preencher toda a sua dimensão;
5. Colocou-se por cima da amostra a outra metade do tecido testemunho multifibra tal como é evidenciado na figura 32;

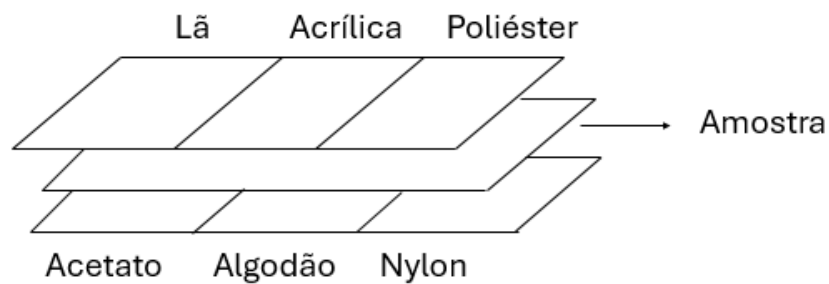


Figura 31 - Disposição da amostra entre a multifibra

O método adotado pela empresa para avaliar a solidez à água, encontra-se indicado nos seguintes pontos:

1. Colocou-se a amostra composta na placa de Petri;
2. Encheu-se a placa de Petri com água destilada;
3. Molhou-se a amostra progressivamente (da esquerda para a direita) de modo que toda a amostra ficasse encharcada.

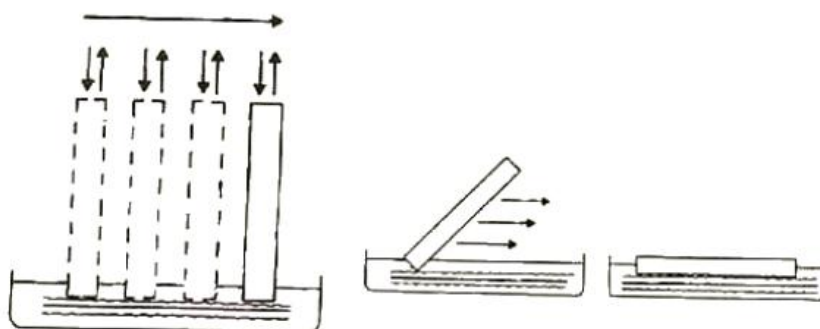


Figura 32 – Método de solidez à água a 37°C

4. Removeu-se todas as bolhas de ar que pudessem existir pressionando ligeiramente;
5. Colocou-se uma segunda placa de Petri por cima da amostra;
6. Deixou-se repousar à temperatura ambiente durante 15 minutos;
7. Verteu-se a água sem nunca espremer a amostra;
8. Colocou-se este conjunto na estufa a $37 \pm 3^\circ\text{C}$ durante 4 horas;
9. Secou-se num tabuleiro separadamente a amostra e o tecido multifibra a uma temperatura não superior a 60°C .

Posteriormente foram avaliadas as alterações de cor dos provetes e manchamentos dos testemunhos multifibra com o auxílio das escalas de cinzentos apropriadas, numa cabine de luz *verivide*, sob o iluminante D65.

5.2.2.3. Solidez à fricção a seco e a húmido

A avaliação da solidez dos tintos à fricção a seco e a húmido foi efetuada de acordo com a norma NP EN ISSO 105-X12. Para realizar estes ensaios utilizou-se um *crockmeter* disponível nas instalações da empresa.

No que diz respeito à preparação das amostras, utilizaram-se amostras do tecido tingido com dimensões 10x4 cm para os testes. Para realizar os ensaios, colocaram-se testemunhos de algodão *rubbing* na cavilha do *crockmeter* e por meio de um movimento vai e vem retilíneo de 10 vezes para um lado e 10 vezes para o outro, friccionaram-se as amostras tingidas que se encontravam colocadas no suporte do aparelho. Este procedimento foi efetuado para cada ensaio a seco e a húmido. A única diferença entre os ensaios, é que no ensaio a húmido, o testemunho de algodão *rubbing* foi humedecido antes de ser colocada na cavilha.

De seguida os manchamentos dos testemunhos foram avaliados com uma escala de cinzentos numa cabine de luz *verivide*, sob o iluminante D65.

6. Apresentação e discussão dos resultados

6.1 Testes de solidez

Um dos objetivos desta dissertação foi desenvolver um método alternativo ao adotado pela empresa, que fosse mais sustentável em termos ecológicos e financeiros e que também mantivesse o nível de qualidade do produto final obtido através do método convencional. Para este objetivo se verificar, foi necessário realizar vários testes de solidez e comparar os resultados entre o método convencional adotado pela empresa e os obtidos pelos processos alternativos mais ecológicos.

Os resultados obtidos para estarem de acordo com as diretrizes internas da empresa não deverão estar abaixo dos índices de solidez 4 classificados com auxílio das escalas de cinzento da alteração da cor do provete e do manchamento de testemunhos, salvo raras exceções, onde esse grau é difícil de obter. Só estando conformes com os requisitos exigidos, o produto final poderá ser enviado ao cliente.

Os índices de solidez obtidos nos ensaios experimentais realizados e os resultados obtidos nos ensaios experimentais, estão apresentados a seguir nas tabelas 56, 57, 58, 59 e 60 e nas figuras 34, 35, 36 e 37.

Tabela 53 - Resultados dos índices de solidez referentes à alteração da cor

	Solidez à lavagem doméstica e industrial	Solidez à água
Método Convencional	5	5
Método Alternativo – Ensaio 1	5	5
Método Alternativo – Ensaio 2	5	5
Método Alternativo – Ensaio 3	5	5

Tabela 54 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo método convencional

Método Convencional						
	CA	CO	PA	PES	PAC	WO
Solidez à lavagem doméstica e industrial	4	4	4	5	5	5
Solidez à água	5	4	4	5	5	5
Solidez à fricção a seco	5		Solidez à fricção a húmido		3-4	

Tabela 55 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo Método Alternativo - Ensaio 1

Método Alternativo – Ensaio 1						
	CA	CO	PA	PES	PAC	WO
Solidez à lavagem doméstica e industrial	4	2-3	3-4	4	4	5
Solidez à água	4	1	3	3	3	3
Solidez à fricção a seco	5		Solidez à fricção a húmido		2	

Tabela 56 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo Método Alternativo - Ensaio 2

Método Alternativo – Ensaio 2						
	CA	CO	PA	PES	PAC	WO
Solidez à lavagem doméstica e industrial	5	5	5	4	4	5
Solidez à água	5	3	3	4	5	5
Solidez à fricção a seco	5		Solidez à fricção a húmido		4	

Tabela 57 - Resultados de solidez ao manchamento obtidos pelo Método Alternativo - Ensaio 3

Método Alternativo – Ensaio 3						
	CA	CO	PA	PES	PAC	WO
Solidez à lavagem doméstica e industrial	5	5	5	4	4	5
Solidez à água	5	4	4	5	5	5
Solidez à fricção a seco	5		Solidez à fricção a húmido		3-4	

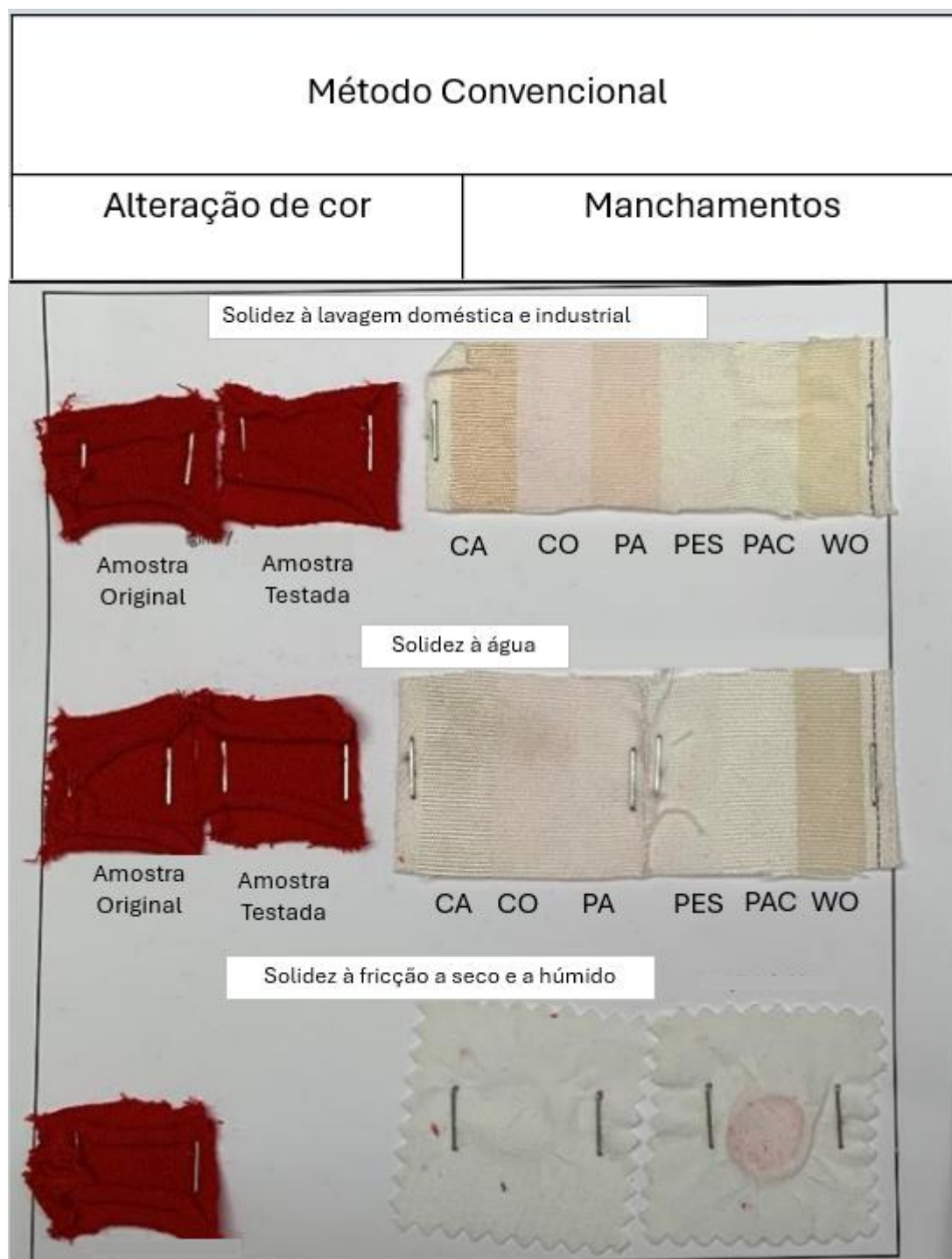


Figura 33 - Boletim de ensaios do método convencional

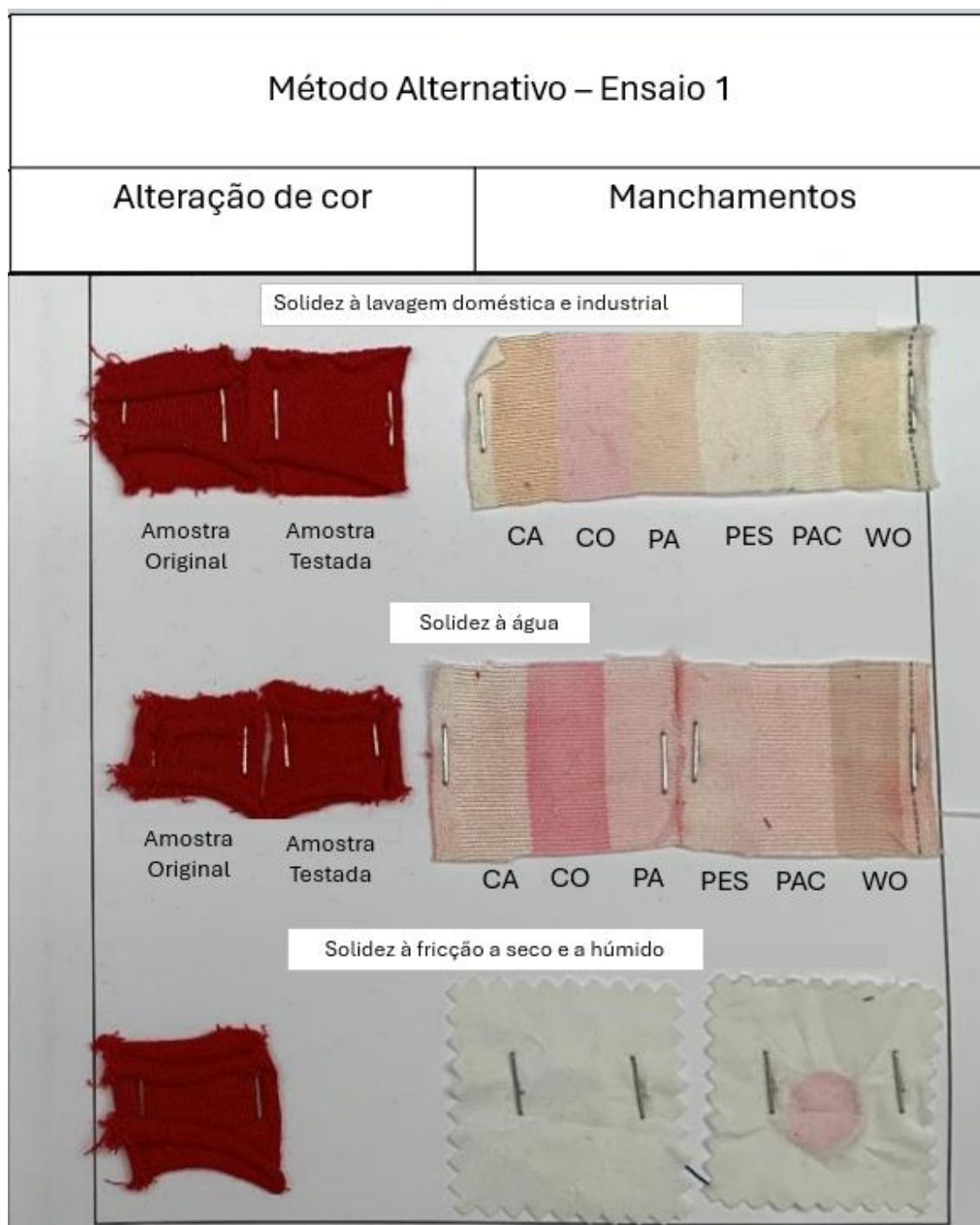


Figura 34 - Boletim de ensaios do método alternativo – ensaio 1

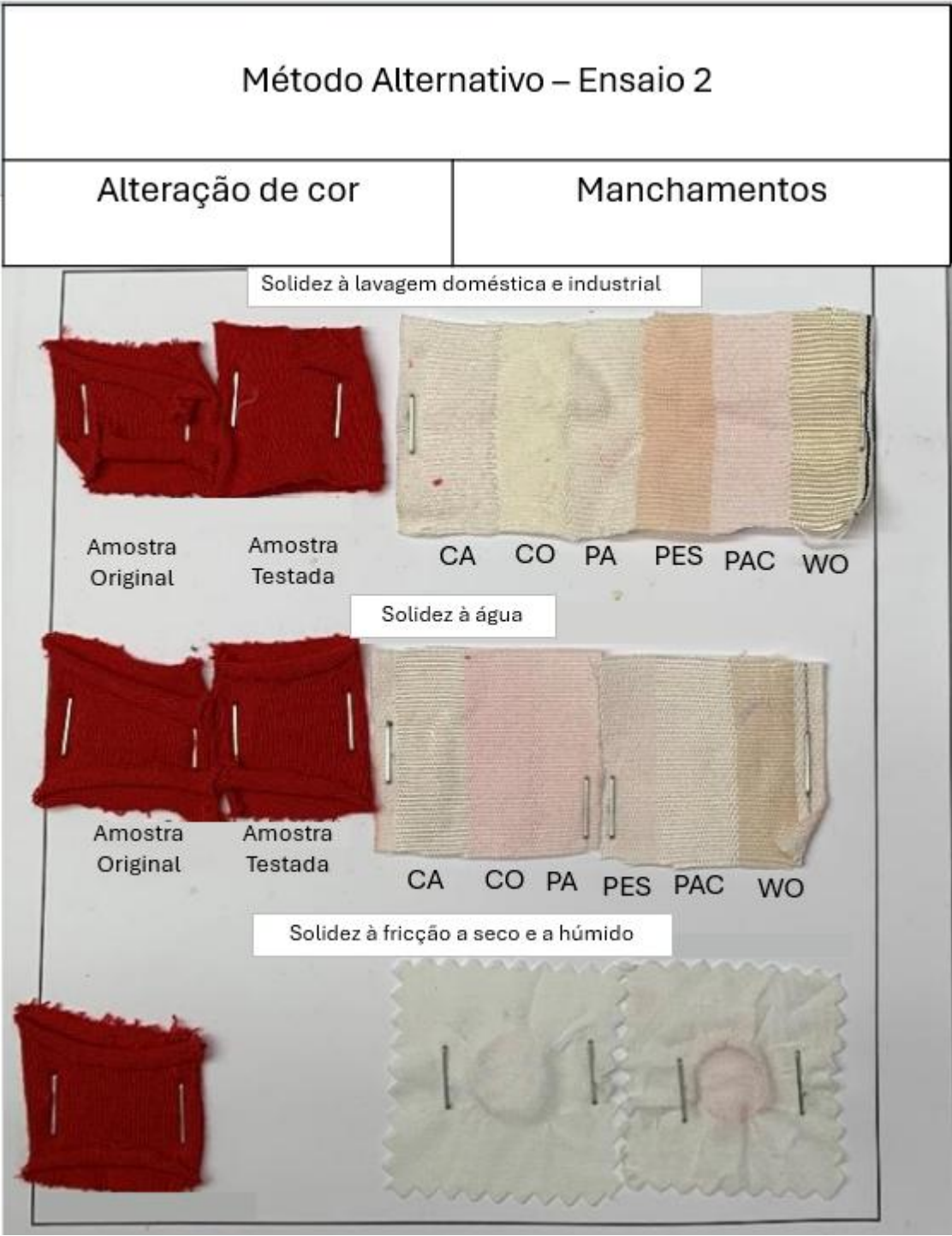


Figura 35 - Boletim de ensaios do método alternativo – ensaio 2

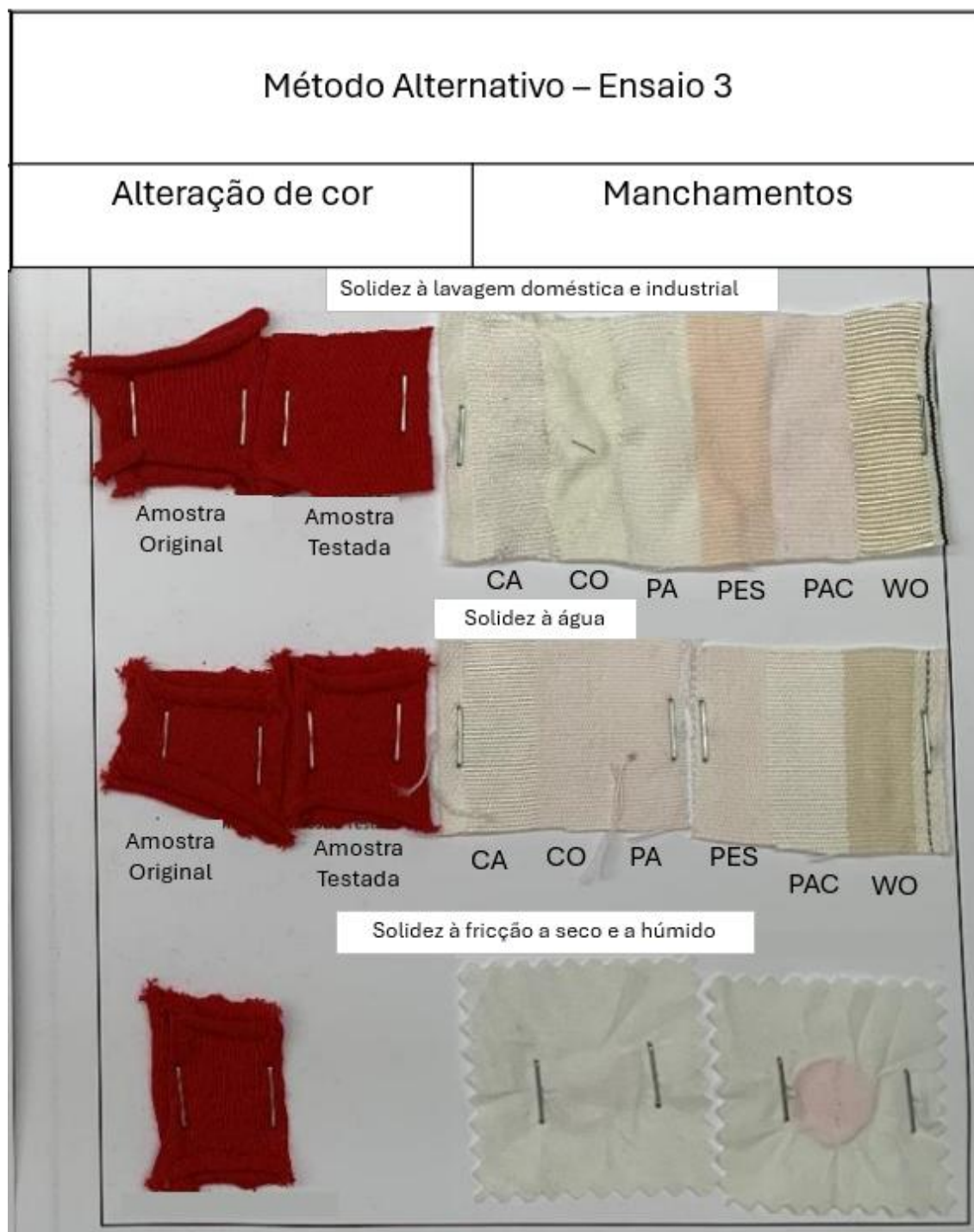


Figura 36 - Boletim de ensaios do método alternativo – ensaio 3

Em relação aos resultados referentes aos índices de solidez na alteração de cor, é possível observar que, a introdução do método alternativo, em qualquer um dos ensaios realizados, não irá ser um obstáculo no que diz respeito à qualidade do produto final, uma vez que, todos os ensaios realizados não apresentaram alterações de cor, conseguindo-se assim obter o grau mais elevado nos índices de solidez.

Em relação aos índices de solidez do manchamento, a análise terá de ser mais detalhada. Como foi dito previamente, uma das razões desta ter sido a cor escolhida para a realização destes ensaios, foi ser uma tonalidade, que, por norma, é difícil obter índices de solidez muito elevados. Através da análise dos resultados do método convencional, este facto está evidenciado na solidez à fricção a húmido, onde o resultado foi 3-4. No entanto, tanto a solidez à lavagem doméstica e industrial, como a solidez à água e a solidez à fricção a seco apresentaram sempre resultantes excelentes que variam entre o 4 e 5. Sendo que o índice de solidez mais elevado, tanto no caso da lavagem doméstica e industrial como na solidez à água, ocorreu no manchamento das matérias-primas de poliéster, acrílico e lã. Para além destas, também o acetato apresentou o índice de solidez 5, mas só no teste de solidez à água.

Através da análise da tabela 58, pode-se visualizar as diferenças existentes entre este primeiro ensaio do método alternativo e o método convencional. Os valores de solidez foram muito abaixo daqueles que são exigidos de modo a ter um produto com a qualidade que a empresa tem de apresentar. Esta falta de qualidade, está evidenciada, principalmente, no teste de solidez à água, onde só 1 valor, o acetato, está dentro dos parâmetros exigidos. Em relação às outras matérias-primas têm todas o índice de solidez 3, à exceção do algodão que tem o pior nível de solidez obtendo o valor 1. No teste de solidez à fricção a húmido, que já era o índice mais fraco desta tonalidade no método convencional, o resultado foi ainda pior, obtendo-se um nível 2. Estes resultados obtidos no ensaio número 1 mostram que a substituição da fervura alcalina por um método alternativo mais ecológico, com a utilização do Produto A, por si só, não garantirá os requisitos mínimos para o produto ser comercializado. É de assinalar que, no tratamento prévio seria importante determinar o pH antes e após o tratamento. A utilização de tensioativos como é o caso do produto A, em pH alcalino otimiza a remoção de ceras, óleos e gorduras, uma vez que facilita a saponificação dessas substâncias, tornando-as solúveis em água (Pinheiro, 2018). limpeza mais eficaz. A adição de compostos alcalinos, como por exemplo, o hidróxido de sódio,

aumenta essa eficácia ao auxiliar a dissolução e dispersão dessas impurezas. Assim não havendo esse controlo do pH não é possível concluir se o produto A é eficaz ao ponto de conseguir remover completamente as ceras, óleos e gorduras e impurezas. É de assinalar que, este processo alternativo só foi efetuado numa cor escura, o vermelho, e neste caso não se observou a presença de impurezas.

Outro aspeto importante a considerar é que, estes baixos níveis de solidez obtidos neste ensaio alternativo, podem também ser explicados pela falta da operação referente à remoção do corante disperso em excesso presente no substrato tingido. Corante este que, terá afetado substancialmente os resultados nos diferentes testes de solidez.

Em relação aos resultados obtidos no ensaio 2, com a introdução de todos os produtos a serem estudados (A, B e C), verificou-se uma melhoria significativa em relação ao primeiro ensaio. O produto B atua como um detergente sequestrante, que auxilia a remoção dos resíduos de corante disperso e evita manchas ou irregularidades no tecido após o tingimento. Contudo, a eficácia do produto B depende de vários fatores, tais como a concentração de corante, o tempo de processo, a temperatura e o pH da solução. O produto C é eficaz para remover o excesso de corante reativo hidrolisado no algodão, após o processo de tingimento. Contudo, à semelhança do produto B, a sua eficácia depende do tempo do processo, temperatura e do pH da solução.

No primeiro ensaio obtiveram-se índices de solidez de 1 e 2, enquanto, no segundo os níveis já foram de 3 e 4, o que, demonstra, que, de facto, houve uma melhoria nos resultados obtidos. Estes valores correspondem aos índices de manchamento das fibras de algodão e de poliamida referentes ao ensaio da solidez à água como se pode visualizar na tabela 59. No entanto, quando comparado com o método convencional, apesar dos resultados serem mais próximos, ainda se encontram ligeiramente aquém da qualidade desejada, uma vez que o índice de solidez 3 encontra-se abaixo dos requisitos internos da empresa.

O método alternativo – ensaio 2 comprova assim que o produto B consegue de facto retirar o corante disperso em excesso da mistura tingida. Para além disso, devido à não utilização dos produtos usados no método convencional, também é possível comprovar que o Produto C removeu o corante reativo hidrolisado em excesso, uma vez que os resultados não foram severamente comprometidos.

Por fim, no que diz respeito ao último ensaio (número 3), utilizando os produtos novos (A, B e C) e otimizando o processo utilizado no ensaio número 2, foi possível verificar que os índices de solidez são equivalentes aos obtidos no método convencional. É de salientar que, no que diz respeito à solidez à lavagem doméstica e industrial, no que se refere às fibras de acetato, algodão e poliamida houve uma melhoria significativa, obtendo-se índices de solidez 5, no método alternativo - ensaio 3, enquanto que, no método convencional os índices foram de 4 para as mesmas fibras. Para além disso, pode-se verificar que, o índice obtido na solidez à fricção a húmido foi de 3-4 no ensaio 3, idêntico ao do método convencional. É de notar que, no ensaio 3 o número de lavagens na fase do ensaboamento (etapa 4) foi superior ao ensaio 2 (etapa 4) sendo que no primeiro foram quatro banhos e no segundo 2 banhos respetivamente. Estas lavagens permitiram obter melhores índices de manchamento no ensaio 3.

Deste modo, pode-se aferir que com a utilização dos produtos inovadores A, B e C é possível, a utilização de um método alternativo ao método de tingimento convencional de uma mistura PES/CO em fio, sem causar prejuízos na qualidade final do produto, , mas apenas em cores escuras, como foi afirmado anteriormente.

6.2. Melhoria de sustentabilidade ecológica

O foco neste trabalho no que diz respeito à melhoria da sustentabilidade ecológica do processo, reside em reduzir a quantidade de água e de energia elétrica utilizados no processo de tingimento. Para isso, foi necessário fazer uma comparação destes gastos nas diferentes fases do processo convencional relativamente aos gastos utilizados nos ensaios utilizando métodos alternativos.

6.2.1 Melhoria de sustentabilidade na quantidade de água utilizada

Tabela 58 - Resultados da quantidade de banhos utilizados em cada método realizado

	Nº de banhos (1 banho = 700L de água)						Nº Total de banhos
	Tratamento prévio	Tingimento PES	Lavagem redutora	Tingimento CO	Ensaboamento	Acabamento	
Método Convencional	3	1	4	1	7	1	17
Ensaio 1	1	1	-	1	7	1	11
Ensaio 2	1	1	-	1	2	1	6
Ensaio 3	1	1	-	1	4	1	8

Como se pode observar na tabela 61, com a implementação dos novos produtos foi possível reduzir significativamente a quantidade de água utilizada durante o tingimento em fio de uma mistura PES/CO na busca por um método alternativo. Esta redução é verificada em 3 fases processuais distintas. A primeira fase do processo a sofrer alterações na quantidade de água utilizada foi o tratamento prévio. No que diz respeito à quantidade de água utilizada com a introdução do Produto A conseguiu-se reduzir o número total de banhos de 3 para 1.

A segunda fase a sofrer alterações em relação ao método convencional foi a lavagem redutora, uma vez que com a introdução do Produto B no ensaboamento cuja função foi remover

o corante disperso em excesso, a fase da lavagem redutora tornou-se dispensável. Por fim a junção do Produto B e do Produto C permitiram reduzir o número total de ensaboamentos. Sendo nesta fase que se verificou a maior poupança deste recurso que é tão essencial.

Aliando os resultados de solidez com os resultados da totalidade de água utilizada durante o processo completo, foi possível perceber que o melhor resultado possível é conferido através do ensaio nº 3, uma vez que, é o único que garante a manutenção da qualidade no produto e um decréscimo significativo na quantidade de água utilizada.

É importante salientar que, apesar do ensaio 2 apresentar a maior redução em relação à água utilizada no método convencional, este ensaio não garantirá níveis suficientes de solidez para ser considerado uma solução válida.

6.2.2 Melhoria de sustentabilidade energética

Tabela 59 - Consumo Energético do Método Convencional

Método Convencional			
Fases do Processo	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Consumo Energético (Kw)
Tratamento Prévio	60	100	0.3276
Tingimento PES	60	135	0.6142
Ensaboamento (80°C)	60	80	0.3276
Ensaboamento (95°C)	60	95	0.2866

Tabela 60 - Consumo Energético do Método Alternativo - Ensaio 1

Método Alternativo – Ensaio 1			
Fases do Processo	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Consumo Energético (Kw)
Tingimento PES	60	135	0.61425
Ensaboamento (80°C)	60	80	0.3276
Ensaboamento (95°C)	60	95	0.28665

Tabela 61 - Consumo Energético do Método Alternativo - Ensaio 2

Método Alternativo – Ensaio 2			
Fases do Processo	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Consumo Energético (Kw)
Tingimento PES	60	135	0.6142
Ensaboamento (80°C)	60	80	0.1638
Ensaboamento (95°C)	60	95	0.2866

Tabela 62 - Consumo Energético do Método Alternativo - Ensaio 3

Método Alternativo – Ensaio 3			
Fases do Processo	Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Consumo Energético (Kw)
Tingimento PES	60	135	0.6142
Ensaboamento (80°C)	60	80	0.1638
Ensaboamento (95°C)	60	95	0.2866

Tabela 63 - Comparação da energia elétrica utilizada nos ensaios realizados

Comparação de consumo energético nos ensaios		
Método	Consumo energético total (Kw)	% poupada de energia elétrica
Convencional	1,556	-
Alternativo – Ensaio 1	1,228	21,1
Alternativo – Ensaio 2	1,065	31,2
Alternativo – Ensaio 3	1,065	31,2

Como se pode observar na tabela 66, a primeira redução na quantidade de energia elétrica, está evidenciada logo no ensaio 1. Esta redução, deve-se ao facto, de não ser necessário o aquecimento da água na fase de tratamento prévio. Fase esta que também não existe nos ensaios 2 e 3.

Os ensaios 2 e 3 apresentam valores de consumos energéticos totais mais baixos que o ensaio 1 e que o método convencional, visto que, para além da não existência de tratamento prévio, também o número de banhos no ensaboamento em que era necessário aquecimento da água foi reduzido.

6.3. Otimização do tempo do processo

O tingimento, como mencionado anteriormente, é um processo da indústria têxtil bastante demorado. Para além disso, como se trata de uma mistura de PES/CO, o tempo de tingimento destas matérias-primas quando em conjunto faz subir consideravelmente a duração da operação. Assim sendo, os 4 ensaios devido as mudanças processuais neles efetuadas apresentaram durações bastante diferentes.

Os tempos dos processos são sempre uma aproximação, visto que em contexto real, num tingimento deste género acontecem sempre algumas perdas de tempo por vários fatores, como, por exemplo, interrupções e ajustes, tempos de preparação, entre outros.

6.3.1 Método Convencional

Tabela 64 - Duração do Método Convencional

	Tratamento prévio	Tingimento PES	Lavagem Redutora	Tingimento CO	Ensaboamento	Acabamento	Total
Tempo	2h	3h	1h 30mins	3h 45mins	3h 15mins	1h10mins	14h40mins

6.3.2. Método Alternativo - Ensaio 1

Tabela 65 - Duração do Método Alternativo - Ensaio 1

	Tratamento prévio	Tingimento PES	Tingimento CO	Ensaboamento	Acabamento	Total
Tempo	30 mins	3h	3h45mins	3h 15mins	1h 10 mins	11h 40mins

6.3.3. Método Alternativo - Ensaio 2

Tabela 66 - Duração do Método Alternativo - Ensaio 2

	Tratamento prévio	Tingimento PES	Tingimento CO	Ensaboamento	Acabamento	Total
Tempo	30 mins	3h	3h 45 mins	1h 15mins	1h 10mins	9h 45mins

6.3.4. Método Alternativo - Ensaio 3

Tabela 67 - Duração do Método Alternativo - Ensaio 3

	Tratamento prévio	Tingimento PES	Tingimento CO	Ensaboamento	Acabamento	Total
Tempo	30 mins	3 h	3h 45mins	2h 15mins	1h 10mins	10h40mins

6.3.5. Tempos totais dos processos

É possível assim obter os valores totais dos processos, a partir dos resultados individuais de cada processo como se pode visualizar na tabela 71.

Tabela 68 - Comparação da duração de cada método

Métodos	Tempo Total	Redução do tempo (h)	Redução do tempo (%)
Convencional	14h 40mins	-	-
Alternativo – Ensaio 1	11h 40mins	3	20,45
Alternativo – Ensaio 2	9h 45mins	4,91(6)	33,52
Alternativo – Ensaio 3	10h 40mins	4	27,27

6.3.5. Análise dos tempos processuais

Com base nas tabelas individuais de cada um dos métodos realizados, método convencional, método alternativo ensaio 1, método alternativo ensaio 2 e método alternativo ensaio 3, foi possível constatar que as maiores diferenças na duração dos processos são em 2 fases distintas, o tratamento prévio e o ensaboamento.

Em relação ao tratamento prévio, fica provado que com a introdução do produto inovador Produto A, foi possível reduzir significativamente o tempo utilizado na preparação do substrato têxtil.

Em relação ao ensaboamento, a introdução do Produto B e do Produto C permitiu reduzir o número de banhos, o que teve como consequência uma diminuição da duração dessa fase processual.

Para além destas 2 operações, a inexistência da fase da lavagem redutora em ensaios do método alternativo, também contribuiu para uma diminuição da duração do processo.

6.4. Comparação conjunta de variáveis dos processos

Analisados individualmente cada uma das variáveis que permitem diferenciar o nível de qualidade do processo de uma mistura de PES/CO em fio, é agora importante, estabelecer uma comparação conjunta das variáveis para decidir se o método convencional se continua a sobressair ou se algum dos ensaios alternativos passou a ser o método mais eficaz. Sendo assim, na Tabela 72, estão apresentados a comparação direta da solidez dos fios, quantidade de água poupada e quantidade de energia elétrica poupada e o tempo processual.

Tabela 69 - Comparação final de todos os métodos

Métodos	Solidez (de 1° a 4° classificado)	Quantidade de água poupada (L)	Quantidade de água poupada (%)	Quantidade de energia elétrica poupada (Kw)	Quantidade de energia elétrica poupada (%)	Tempo total
Convencional	2°	-	-	-	-	14h 40mins
Alternativo Ensaio 1	4°	4200	35,9%	0,328	21,1%	11h 40mins
Alternativo Ensaio 2	3°	7700	64,7%	0,491	31,6%	9h 45mins
Alternativo Ensaio 3	1°	6300	52,9%	0,491	31,6%	10h 40mins

De modo a eleger um método alternativo para competir com o método convencional, foi necessário, inicialmente, decidir qual dos 3 ensaios apresentou melhores resultados. Entre estes, é notório que o ensaio número 1 apresenta uma clara desvantagem em todos os aspetos avaliados.

Em relação aos ensaios alternativos 2 e 3, no que diz respeito à sustentabilidade, apesar de ambos apresentarem melhorias significativas em relação ao método convencional, o ensaio número 2 apresentou os melhores resultados. Para além do ensaio 2 apresentar melhor

sustentabilidade, também se mostrou mais vantajoso, no que diz respeito à duração do processo, sendo menor. O mesmo não se observa nos níveis de solidez obtidos no ensaio 2 relativamente ao ensaio 3. O ensaio alternativo 2 apresentou índices de solidez ligeiramente abaixo daqueles impostos por diretrizes internas da empresa, não podendo assim ser considerado uma alternativa válida. Assim sendo, o ensaio alternativo 3 será a melhor opção entre os dois.

O ensaio alternativo número 3 apresentou os melhores níveis de solidez em relação a todos os métodos estudados, incluindo o método convencional. No que se refere a níveis de sustentabilidade, também se mostrou um método vantajoso, com uma poupança de mais de 50% de água e 30% de energia elétrica utilizada. Para além destes benefícios na sustentabilidade, também apresenta uma duração muito menor, necessitando apenas de 10 horas e 40 minutos até à sua conclusão. Tendo em conta o que foi dito anteriormente, poder-se-á concluir que o processo 3 poderá substituir o método convencional.

Este estudo demonstrou que de facto, o uso destes 3 produtos inovadores (A, B e C), nas condições utilizadas, tem a capacidade de proporcionar uma alternativa mais ecológica e com a mesma qualidade do método convencional.

7. Conclusão

Face aos resultados obtidos ao longo da concretização deste trabalho, foi possível constatar que o objetivo principal proposto, que consistia na otimização de um processo de tingimento em fio de uma mistura de PES/CO através da introdução de produtos inovadores, foi alcançado com sucesso para cores escuras.

O processo de otimização efetuado englobou a realização de duas etapas. A realização do tingimento convencional, de modo a comprovar as deficiências deste processo, principalmente no que concerne ao aspeto ecológico e a introdução de métodos alternativos que resultaram em diversos ensaios realizados, com o objetivo de obter resultados mais ecológicos e uma melhor qualidade do produto final.

O estudo da otimização deste processo de tingimento foi efetuado através da implementação de produtos inovadores nas diferentes fases processuais. O Produto A devido à sua capacidade de remoção de gorduras e ceras do algodão, remoção de manchas e efeito sequestrante foi utilizado para substituir a fervura alcalina, processo este que correspondia ao tratamento prévio no caso do método convencional. O Produto B e o Produto C foram utilizados com as finalidades de remover a lavagem redutora e diminuir o número de ensaboamentos, respetivamente. O que significa que ambos possuem a capacidade de remover os corantes dispersos em excesso (Produto B) e corante reativo hidrolisado (Produto C).

De modo a analisar as diferenças entre o método convencional e os diferentes ensaios alternativos foram realizados testes qualitativos, nomeadamente a solidez à lavagem doméstica e industrial, à água e à fricção a seco e a húmido.

Outro dos objetivos deste trabalho foi implementar na empresa um processo de tingimento em fio de uma mistura PES/CO mais sustentável. Para cumprir este objetivo foram desenvolvidos processos alternativos ao método convencional, em que as quantidades de água e de energia elétrica utilizadas fossem menores. O método convencional adotado pela empresa era constituído pelas fases mais comuns dum processo de tingimento em fio de uma mistura PES/CO, ou seja, tratamento prévio (fervura alcalina), tingimento do poliéster, lavagem redutora, tingimento do algodão, ensaboamento e acabamento. A diferença relevante no primeiro ensaio desenvolvido neste trabalho em relação ao método convencional consistiu em efetuar um tratamento prévio

alternativo e não se realizar a lavagem redutora. No que se refere ao segundo e terceiro ensaios alternativos, para além de terem um método alternativo de tratamento prévio e não haver uma lavagem redutora, efetuou-se um ensaboamento diferente do método convencional.

Da análise dos resultados, pode-se concluir que, no que concerne à otimização do processo de tingimento, existiu uma melhoria substancial no ensaio alternativo 3. Este ensaio, permitiu obter índices de solidez idênticos aos do método convencional nos vários ensaios de solidez efetuados, assim como, uma redução significativa de tempo, energia elétrica utilizada e do recurso mais problemático, a água. Estes resultados demonstram também que, a introdução dos produtos inovadores usados foi bem sucedida. Os ensaios 1 e 2, apesar de bem sucedidos no que diz respeito à sustentabilidade, apresentaram índices de solidez abaixo do exigido. Com o ensaio número 3, pode constatar-se que, conseguiu-se uma economia de mais de 50% de água, mais de 20% de energia elétrica, uma redução de 4 horas no tempo do processo e obtiveram-se os melhores índices nos ensaios de solidez testados.

Assim poder-se-á concluir que, este trabalho cumpriu os objetivos propostos inicialmente, uma vez que conseguiu-se testar os produtos inovadores e provar que com a utilização destes era possível encontrar um método mais sustentável em termos ecológicos que mantivesse a qualidade do produto final para cores escuras.

Propõe-se em trabalhos futuros, utilizar os mesmos produtos num leque mais alargado de cores, porque, apesar de a cor testada ser uma cor difícil de obter bons índices de solidez, é necessário alargar o estudo a uma maior variedade de cores para garantir a eficácia do método alternativo e poder ser implementada na generalidade dos casos deste tipo de tingimento. É importante em trabalhos futuros, controlar parâmetros no processo tais como, o pH e o grau de branco no tratamento prévio. Seria também relevante testar no ensaio de solidez à lavagem doméstica e industrial, condições menos drásticas do ensaio para as várias cores obtidas neste tipo de tingimento em fio de uma mistura de PES/CO. Seria também interessante efetuar em trabalhos futuros, mais ensaios de solidez, por exemplo, a solidez à lavagem.

8. Referências Bibliográficas

Ahmed, I., Lutful Ahsan, M., Silva, A., & Estrela, A. (2015). Spanish Journal of Industrial Chemistry and Textile Physics Reducing effluent pollution in dyeing cotton fabrics with reactive dyes (Vol. 6, Issue 5).

Alonso, H. (2008). Estudo do efeito do tratamento por laser de CO2 nas propriedades superficiais de fibras sintéticas. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]

Alves, B. M. F. (2021). Desenvolvimento de algoritmos para inferir a cor do substrato tingido a partir da concentração de corante esgotado. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho] <https://hdl.handle.net/1822/84306>

Antunes, M. I. S. (2019). Hidrólise dos Corantes Reativos. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]

Araújo, M. D., & Castro, E. M. (1984). Manual de Engenharia Têxtil. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

Bachelier, B., & Gurlot, J.-P. (2019). A FIBRA DE ALGODÃO.

Bastos, P. M. L. (2003). Inferência de propriedades químicas do algodão através de técnicas de Data Mining. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]

Broadbent, A. D., & Society of Dyers and Colourists. (2001). Basic principles of textile coloration. Society of Dyers and Colorists.

Carvalho, C. C. (2015). Fibras têxteis não convencionais com propriedades de conforto melhoradas. <https://hdl.handle.net/10216/88674>

Carvalho, T. (2007). Espectro Eletromagnético. InfoEscola Navegando e Aprendendo.

Clark, J. (2011). Handbook of Textile and Industrial Dyeing.

Ferreira, J. (2022). Obtenção de Fibras Têxteis Alternativas Usando Resíduos de Fontes Renováveis. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]

Gonçalves, R. A. M. (2017). Otimização do tingimento de fibras de algodão com corantes reativos bifuncionais. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]

Hasanbeigi, A., & Price, L. (2012). A review of energy use and energy efficiency technologies for the textile industry. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Issue 6, pp. 3648–3665). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.029>

Hossain, A., & AK, S. (2019). A cost minimization process of heat and energy consumption for direct dyeing of cotton fabric coloration with triethanolamine. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 5(5). <https://doi.org/10.15406/jteft.2019.05.00207>

Hossain, I., Hossain, A., & Choudhury, I. A. (2016). Dyeing process parameters optimisation and colour strength prediction for viscose/lycra blended knitted fabrics using Taguchi method. *Journal of the Textile Institute*, 107(2), 154–164. <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1018669>

Jena, B., Das, B. P., Khandual, A., Sahu, S., & Behera, L. (2015). Ecofriendly Processing of Textiles. *Materials Today: Proceedings*, 2(4–5), 1776–1791. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.020>

Kant, R. (2012). Textile dyeing industry an environmental hazard. *Natural Science*, 04(01), 22–26. <https://doi.org/10.4236/ns.2012.41004>

Knudsen, H. H., & Wenzel, H. (1996). Environmentally friendly method in reactive dyeing of cotton. *Water Science and Technology*, 33(6), 17–27. [https://doi.org/10.1016/0273-1223\(96\)00317-4](https://doi.org/10.1016/0273-1223(96)00317-4)

Militky, J. (2009). The chemistry, manufacture and tensile behaviour of polyester fibers. In *Handbook of Tensile Properties of Textile and Technical Fibres* (pp. 223–314). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9781845696801.2.223>

O`Neill, J. (2003). Efeito de Solventes Orgânicos nas Propriedades de Fibras Sintéticas. <https://hdl.handle.net/1822/388>

Pinheiro, A. M. da C. (2018). Otimização do processo de tingimento de misturas poliéster /algodão.[Dissertação de Mestrado, Universidade] <https://hdl.handle.net/1822/74337>

Romero, L. L., Vieira, J. O. W. M., Medeiros, L. A., & Martins, R. F. (1995). FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS.

Shaikh, M. A. (2009). Water conservation in textile industry.

Subhopoto, A. N., Akar, M., & Sultanoglu, S. (2019). A New Classification Method for Predicting the Output of Dye Process in Textile Industry by Using Artificial Neural Networks. Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 11507 LNCS, 687–698. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20518-8_57

Textile Exchange. (2023). Preferred Fiber & Materials Market Report Foreword.

Vilela, A. P. P. (2018). Otimização do processo de tingimento pós-confeção de artigos de algodão e linho com corantes reativos. [Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho]