



M 2020

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

ESTUDO DAS CONDIÇÕES ÓTIMAS LABORATÓRIO/PRODUÇÃO NO PROCESSO DE UTILIZAÇÃO DE BRANQUEADORES ÓTICOS

ANA ISABEL GONÇALVES GOMES
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo das Condições Ótimas Laboratório/Produção no Processo de Utilização de Branqueadores Óticos

Dissertação de Mestrado

de

Ana Isabel Gonçalves Gomes

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

MGC - Acabamentos Têxteis, S.A.



Orientador na FEUP: Prof.^a Lúcia Santos

Coordenador na MGC - Acabamentos Têxteis, S.A.: Eng.^a Maria do Carmo Teixeira



outubro de 2020

Agradecimentos

A realização de uma dissertação não é algo fácil e depende principalmente do nosso trabalho e empenho. Todavia, não é um caminho que seja traçado completamente sozinho. Ao longo destes meses contei com o auxílio e a crítica de várias pessoas às quais gostaria de transmitir uma palavra de apreço.

À empresa MGC - Acabamentos Têxteis, S.A. gostaria de agradecer pela possibilidade de realizar a minha dissertação em meio empresarial, que apesar das circunstâncias (pandemia COVID-19), me permitiu conhecer um pouco mais sobre esta indústria e o funcionamento do mercado de trabalho.

Gostaria de agradecer à Professora Lúcia Santos e à Engenheira Maria do Carmo Teixeira pela orientação e preocupação ao longo deste projeto.

Um muito obrigada a todos os trabalhadores da MGC - AT que sempre disponibilizaram o seu tempo para me ajudar e tirar todas as dúvidas. Em especial, um agradecimento aos técnicos de laboratório, Daniela Freitas, Mariana Andrade, Roberto Costa, Juliana Rodrigues e Renata, por toda a paciência ao ensinarem-me os processos laboratoriais da empresa e por me disponibilizarem os equipamentos para a realização dos testes. Também à Dona Teresa por todo o auxílio prestado e pelas dúvidas esclarecidas. À Sofia Gonçalves, minha companheira na empresa durante este percurso, por ter ouvido os meus desabafos.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto agradeço a oportunidade e os conhecimentos transmitidos ao longo destes 5 anos difíceis. A todas “as minhas frigideiras” que me acompanham em todos os momentos desde o primeiro dia nesta faculdade e que me ajudaram a chegar aonde cheguei, principalmente à Josefa Fonseca e à Ana Eulálio, por todas as vezes que me apoiaram.

À Rita Lopes, ao Miguel Lemos, à Ana Coelho e à Cláudia Alves por estarem sempre lá a ouvirem as minhas reclamações e por, mesmo não sabendo, me ajudarem a superar momentos mais complicados.

Por fim, e não menos importante, aos meus pais e família, pelo apoio e paciência durante todo este percurso e pelo esforço económico que fizeram para que fosse possível ter um curso superior e conseguisse viver a minha vida académica da melhor forma possível.

A Prof.^a Lúcia Santos orientadora desta dissertação, é membro integrado do LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado por: Financiamento Base - UIDB/00511/2020 da Unidade de Investigação - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Resumo

A indústria têxtil tem um grande impacto na economia nacional, tratando-se de uma área em constante evolução devido à necessidade de inovar face à competitividade existente. Assim, torna-se necessário que as empresas respondam com mais qualidade e rapidez ao cliente.

Este projeto surge face à necessidade da MGC - Acabamentos Têxteis, S.A, em melhorar a reprodutibilidade do laboratório - produção do processo de aplicação de branqueadores óticos, uma vez que 70 % da produção atual da empresa destina-se à área de *workwear*, que carece de branqueadores óticos na sua produção. O estudo deste processo teve como objetivo compreender melhor o comportamento destes compostos químicos, utilizados na indústria têxtil para proporcionar um aumento no grau de brancura dos tecidos, procurando melhorar a sua eficiência.

Em primeiro lugar, avaliou-se qual o efeito da concentração de branqueador ótico no grau de brancura, tendo sido possível determinar a partir de que valor é atingida a saturação. Esta avaliação foi feita para 2 branqueadores destinados a fibras celulósicas e 2 destinados a fibras sintéticas/celulósicas.

Relativamente aos tecidos 100 % algodão, fez-se uma análise de sensibilidade a dois branqueadores óticos isolados e a um banho de acabamento utilizado na empresa, a parâmetros como: pH do banho de acabamento, pressão do *foulard*, temperatura e tempo de secagem e exposição à luz. Deste modo, foi possível concluir que os tecidos 100 % algodão com branqueadores óticos deveriam secar a 140 °C durante 90 segundos, concluindo-se também que os outros parâmetros não têm influência no processo. No entanto, estas condições necessitam de uma validação futura.

Para os tecidos constituídos por misturas de algodão e poliéster, foi feita uma validação do novo processo produtivo recentemente aplicado pela empresa, uma vez que não possível fazer a mesma análise de sensibilidade que foi feita aos tecidos anteriores. Assim, fez-se variar o tempo e a temperatura de termofixação de vários tecidos com diferentes banhos de acabamento, verificando-se que, efetivamente, a melhor aproximação laboratório-produção é para as condições atuais. Para este processo efetuou-se um balanço económico com o intuito de o validar economicamente, verificando-se uma diminuição de 30 % dos custos face ao processo anterior. A principal melhoria verifica-se na diminuição dos gastos de água e de energia na máquina de branqueamento.

Em suma, este estudo permitiu uma melhoria na reprodutibilidade deste processo, que no futuro irá otimizar o tempo de resposta da empresa.

Palavras Chave: Indústria têxtil; Branqueadores óticos; Colorimetria; Grau de brancura.

Abstract

The textile industry has a great impact on the national economy, being an area in constant evolution due to the need to innovate due to the existing competitiveness. Thus, it becomes necessary for companies to respond with more quality and faster to the customer.

This project arises in view of the need of MGC - Acabamentos Têxteis, S.A., to improve laboratory-production reproducibility of the optical brightener application process, since 70 % of the company's current production is destined to the workwear area, that needs optical brighteners in its production. The study of this process aimed to better understand the behavior of these chemicals compounds, used in the textile industry to provide an increase in the degree of whiteness of fabrics, seeking to improve their efficiency.

In first place, it was evaluated how the concentration of optical brightener influenced the degree of whiteness, and the value at which these reached saturation was determined. This evaluation was made for 2 optical brighteners destined for cellulosic fibers and 2 for synthetic/cellulosic fibers.

For the 100 % cotton fabrics, a sensitivity analysis was made to two isolated optical brighteners and to a finishing bath used in the company, for parameters such as: pH of the finishing bath, *foulard* pressure, temperature and drying time and exposure to light. In this way, it was possible to conclude that 100 % cotton fabrics with optical brighteners should dry at 140 °C and for 90 seconds, also concluding that the other parameters have no influence on the process. However, these conditions require further validation.

For fabrics made of cotton and polyester, a validation of the new production process recently applied by the company was carried out, as it was not possible to carry out the same sensitivity analysis made on previous fabrics. Thus, the thermosetting time and temperature of various fabrics with different finishing baths with brighteners were varied, verifying that, effectively, the best laboratory-production approach is for the current conditions. For this process an economic balance was made in order to validate it economically, with a 30 % decrease in costs compared to the previous process. The main improvement is seen the reduction of water and energy costs in the bleaching machine.

In conclusion, this study allowed an improvement in the reproducibility of this process, which in the future will optimize the company's response time.

Keywords: Textile Industry; Optical Brighteners; Colorimetry; Whiteness Index.

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

Ana Isabel Gonço Pires Gomes

Porto, 21 de setembro de 2020

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	1
1.2	Apresentação da Empresa	2
1.3	Contributos da Autora Para o Trabalho	2
1.4	Organização da Tese	3
2	Contexto e Estado da Arte	4
2.1	Fibras Têxteis.....	4
2.1.1	Fibras de Algodão (CO)	4
2.1.2	Fibras de Poliéster (PES)	5
2.1.3	Fibras de Poliamida (PA)	5
2.1.4	Constituição de um Tecido	6
2.2	Processo Têxtil	6
2.2.1	Preparação	6
2.2.2	Tinturaria	8
2.2.3	Acabamentos	8
2.3	Colorimetria.....	9
2.3.1	Fontes de Luz/Iluminantes	9
2.3.2	Sistema CIE XYZ	10
2.3.3	Sistema CIELab	10
2.4	Branqueamento	12
2.4.1	Branqueamento Químico.....	12
2.4.2	Branqueamento Ótico	12
3	Materiais e Métodos	18
3.1	Substrato	18
3.2	Branqueadores Óticos.....	18
3.3	Banhos de Acabamento	18
3.4	Equipamentos.....	19
3.4.1	<i>Foulard</i>	19

3.4.2	Mathis de Secagem e de Termofixação	19
3.4.3	Espectrofotómetro	20
3.5	Processo	20
3.5.1	Circuito Produtivo para os Tecidos 100% Algodão	21
3.5.2	Circuito Produtivo para Tecidos Algodão/Poliéster	22
4	Resultados e Discussão.....	24
4.1	Efeito da Concentração	24
4.2	Análise de Sensibilidade - Tecidos 100 % CO	26
4.2.1	Tempo de Exposição à Luz.....	26
4.2.2	pH	28
4.2.3	Tempo de Secagem	29
4.2.4	Temperatura de Secagem.....	31
4.2.5	Pressão do <i>Foulard</i>	33
4.3	Validação das Condições Atuais - Tecidos PES/CO	35
5	Balanço Económico	39
6	Conclusões	41
7	Avaliação do Trabalho Realizado	42
7.1	Objetivos Realizados	42
7.2	Outros Trabalhos Realizados.....	42
7.3	Apreciação Final e Trabalho Futuro.....	42
8	Referências	43
Anexo A - Descrição Técnica dos Branqueadores Óticos Utilizados.....		45
Anexo B - Compostos Químicos Utilizados		47
Anexo C - Resultados Obtidos nas Análises Realizadas no Espectrofotómetro.....		48
C.1	- Evolução do Grau de Brancura com a Concentração.....	48
C.2	- Análise de Sensibilidade - Tecidos 100 % CO	50
C.3	- Validação das Condições Atuais - Tecidos PES/CO	57
Anexo D - Resultados do Balanço Económico.....		61

Lista de Figuras

<i>Figura 1 - Classificação dos tipos de fibras têxteis existentes</i>	4
<i>Figura 2 - Estrutura química da celulose</i>	4
<i>Figura 3 - Estrutura química do PET</i>	5
<i>Figura 4 - Estrutura química do Nylon 6 (a) e do Nylon 6,6 (b)</i>	5
<i>Figura 5 - Estrutura de um tecido</i>	6
<i>Figura 6 - Tipos de tingimentos e corantes</i>	8
<i>Figura 7 - Tipos de acabamentos</i>	9
<i>Figura 8 - Diagrama de cromaticidade CIE</i>	10
<i>Figura 9 - Significado geométrico das coordenadas $L^*a^*b^*$</i>	11
<i>Figura 10 - Espectro eletromagnético</i>	13
<i>Figura 11 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda de um tecido de algodão branqueado, branqueado com peróxido de hidrogénio e branqueador ótico e de um tecido em cru</i> ...	14
<i>Figura 12 - Estrutura química do a) cis-estilbeno, b) trans-estilbeno, c) DAS - (Ácido 4,4'-Diaminoestilbeno-2,2'-Dissulfônico) e d) diestirilbenzeno</i>	15
<i>Figura 13 - Foulard do laboratório de tinturaria da MGC - AT</i>	19
<i>Figura 14 - Mathis de secagem do laboratório da MGC - AT</i>	20
<i>Figura 15 - Espectrofotômetro do laboratório de tinturaria da MGC - AT</i>	20
<i>Figura 16 - Processo de aplicação de branqueadores óticos nos tecidos 100% algodão, em laboratório</i>	21
<i>Figura 17 - Circuito produtivo dos tecidos 100 % algodão na produção</i>	22
<i>Figura 18 - Processo de aplicação do banho com branqueadores óticos em tecidos PES/CO, em laboratório</i>	22
<i>Figura 19 - Circuito produtivo antigo (a) e circuito produtivo atual (b) para os tecidos PES/CO</i>	23
<i>Figura 20 - Dados relativos ao grau de brancura CIE (A) e Berger (B) em função da concentração para os 4 OBA's em estudo</i>	24
<i>Figura 21 - Variação da coordenada colorimétrica a^* em função da concentração (A); Variação da coordenada colorimétrica b^* em função da concentração (B)</i>	25
<i>Figura 22 - Influência da exposição do banho de acabamento à luz no grau de brancura CIE (A) e grau de brancura Berger (B)</i>	27
<i>Figura 23 - Dados relativos à coordenada cromática b^* consoante as horas de exposição à luz</i>	27
<i>Figura 24 - Influência do pH do banho de acabamento no grau de brancura CIE (A) e Berger (B)</i>	28

Figura 26 - Variação das coordenadas colorimétricas $a^(A)$ e $b^*(B)$ com o tempo de secagem. 30*

Figura 25 - Influência do tempo de secagem das amostras no grau de brancura CIE (A) e Berger (B). . 30

Figura 27 - Influência da temperatura de secagem no grau de brancura CIE e Berger. 31

Figura 28 - Variação das coordenadas colorimétricas $a^(A)$ e $b^*(B)$ com a temperatura de secagem. 32*

Figura 29 - Influência da pressão dos rolos do foulard no grau de brancura CIE (A) e Berger(B). 34

Figura 30 - Variação do grau de brancura CIE com a temperatura (A) e o tempo de termofixação (B). 36

Figura 31 - Gráficos de contorno para a interação das variáveis temperatura e tempo de termofixação para os 4 testes. 37

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Operações envolvidas no processo de preparação de um tecido.</i>	<i>7</i>
<i>Tabela 2 - Tipos de branqueamentos químicos</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 3 - Valores dos parâmetros para a Equação de Berger para o iluminante D65</i>	<i>16</i>
<i>Tabela 4 - Parâmetros da equação de tonalidade CIE para os dois observadores</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 5 - Branqueadores óticos utilizados.</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 6 - Etapas do circuito produtivo e respectivas variáveis a analisar.</i>	<i>26</i>
<i>Tabela 7 - Diferenças totais de cor entre o padrão e as amostras consoante o tempo de exposição. ..</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 8 - Diferenças totais de cor entre o padrão e as amostras para os diferentes pH dos banhos. .</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 9 - Diferenças totais de cor para os vários tempos de secagem.</i>	<i>31</i>
<i>Tabela 10 - Diferenças totais de cor para as várias temperaturas de secagem.</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 11 - Diferenças totais de cor para as diferentes pressões dos rolos do foulard.</i>	<i>34</i>
<i>Tabela 12 - Variância associada a cada variável do processo produtivo.</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 13 - Descrição da composição dos tecidos e dos banhos de acabamento utilizados para a validação das novas condições.</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 14 - Diferença total de cor associada a cada teste.</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 15 - Diferença de custos associados à LP5 e à râmola nos dois circuitos.</i>	<i>39</i>

Notação e Glossário

a^*	Eixo vermelho-verde	
b^*	Eixo amarelo-azul	
L^*	Luminosidade/Brilho	
C^*	Chroma	
h°	Tonalidade	
$t_{\text{termofixação}}$	Tempo de termofixação	s
$T_{\text{termofixação}}$	Temperatura de termofixação	°C
ΔE^*	Diferença total de cor	
h	Constante de Planck	$J \cdot s^{-1}$
c	Velocidade da luz	$m \cdot s^{-1}$

Letras gregas

Δ	Varição
λ	Comprimento de onda
ν	Frequência
σ	Desvio-padrão
\bar{x}	Média
σ^2	Variância

Lista de Siglas

BA	Banho de acabamento
CIE	Comissão Internacional de Iluminação
CO	Algodão
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> / Organização Internacional de Normalização
ITV	Indústria Têxtil e do Vestuário
MGC - AT	Manuel Gonçalves & Carrington - Acabamentos Têxteis S.A.
NP	Norma Portuguesa
OBA	<i>Optical Brightening Agent</i> / Branqueador ótico
PA	Poliamida
PES	Poliéster
PES/CO	Poliéster/algodão
PET	Politereftalato de etileno
pH	Potencial de hidrogénio
TMG-AT	Têxteis Manuel Gonçalves - Acabamentos Têxteis S.A.
WI	<i>Whitening Index</i> / Grau de brancura

1 Introdução

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

Entre os séculos XVIII e o XIX, o setor têxtil sofreu uma renovação na forma de criação de tecidos e malhas, passando de uma mão de obra mais arcaica para uma produção mais industrial. Embora tenha começado a partir da época da Revolução Industrial, onde surgiu a produção têxtil a nível industrial, foi a partir da segunda metade do século XIX que começaram a surgir muitas unidades de fiação, tecelagem, tinturaria, acabamentos, confeções, entre outros [1].

Em Portugal, embora houvesse muita resistência por parte da população na adoção destes novos sistemas de produção, estes começaram-se a implementar após o fim das lutas liberais (1836). Ao longo do tempo, a indústria têxtil apresentou um crescimento exponencial, focando-se nas necessidades do ser humano e adaptando-se a diferentes meios, com a mecanização dos processos, o que levou a um aumento do rendimento do trabalho [1].

A Indústria Têxtil e Vestuário (ITV) é um dos setores mais importantes para a economia nacional tendo, em 2018, gerado um volume de negócios de 7,6 mil milhões de euros, dos quais 5,3 mil milhões advieram de exportações. É assim o setor responsável por cerca de 10 % das exportações nacionais, sendo também um dos poucos setores de atividade com saldo positivo na balança comercial [2].

A ITV divide-se em dois setores: setor têxtil e o setor de vestuário, sendo cada um direcionado para uma produção diferente. O setor têxtil é responsável pela obtenção de fibras, fios e tecidos e, posteriormente, pelos respetivos tratamentos a nível de tinturaria e acabamentos. O setor de vestuário trata da transformação dos materiais em vestuário, passando por atividades como o corte, confeção e acabamentos.

A MGC - Acabamentos Têxteis é uma unidade industrial que remata o processo de produção de tecidos e malhas, a nível de tinturaria e acabamentos, estando em constante processo evolutivo, incorporando novas tecnologias nos processos. A fábrica divide-se em dois setores: tecidos e malhas, que diferem no tipo de processo utilizado, uma vez que no setor dos tecidos predominam os processos em contínuo e nas malhas os processos por esgotamento.

Este projeto foi desenvolvido no laboratório de tinturaria do setor de tecidos, na secção destinada à aplicação de banhos de acabamento. O objetivo principal foi melhorar a reprodutibilidade laboratório/ laboratório e laboratório/ produção do processo de aplicação de branqueadores óticos.

Trata-se de uma área de bastante interesse científico e económico, estimando-se que em 2025 o mercado dos branqueadores óticos seja de aproximadamente 1,13 milhões de dólares (1,04 milhões de euros), a nível mundial [3].

1.2 Apresentação da Empresa

A presente dissertação foi realizada na empresa MGC - Acabamentos Têxteis, S.A, parte integrante do grupo TMG (Têxteis Manuel Gonçalves) localizada em Ronfe, Guimarães.

A TMG foi fundada em 1937, inicialmente sob o nome Fábrica de Fiação e Tecidos de Manuel Gonçalves, em São Cosme do Vale, Vila Nova de Famalicão, focando-se na indústria têxtil. Posteriormente, expandiu os seus negócios para áreas como o setor automóvel, energético entre outros.

Assim, em 1960, nasce a TMG - Acabamentos Têxteis com o intuito de atuar na parte do tingimento de tecidos e malhas. Em 2017, surgiu uma parceria com a Carrington (antiga Pincroft), empresa inglesa sediada em Lancashire, especializada na produção de fatos de trabalho, e a TMG, dando origem à MGC - AT, empresa que atualmente é certificada pelas normas NP EN ISO 9001:2008 e NP EN ISO 14001:2012. A meta de produção da MGC-AT é de 18 milhões de metros de tecido por ano [4].

A MGC-AT foca-se na área de tinturaria, englobando o branqueamento e o tingimento de produtos têxteis, e na área de acabamentos têxteis. A área de trabalho divide-se na área das malhas e na dos tecidos, tendo sido este trabalho realizado na área de acabamento de tecidos.

Desde a parceria com a Carrington a produção da empresa destina-se principalmente a *workwear* (fardas hospitalares, batas, entre outros) e cerca de 70 % desta produção requer do uso de branqueadores óticos.

1.3 Contributos da Autora Para o Trabalho

O presente projeto consistiu, numa fase inicial, em investigar as características químicas dos branqueadores óticos utilizados na MGC - AT nas diferentes fibras têxteis e analisar as variáveis que influenciam o processo de aplicação dos mesmos.

Foi feita uma pesquisa intensiva pois este trabalho envolveu uma grande adaptação à indústria têxtil e aos novos termos relacionados com o setor.

O objetivo proposto inicialmente consistia em estudar e definir as condições ótimas da aplicação de branqueadores óticos, em tecidos 100 % algodão e em tecidos poliéster/algodão, com o objetivo de reduzir as diferenças entre o tecido branqueado oticamente em laboratório e o tecido branqueado em produção, aumentando a produtividade.

Face à pandemia registada e à necessidade de redução do número de horas de contacto com a empresa, um dos objetivos iniciais foi alterado. Foi efetuado o estudo da variação do grau de brancura face a alterações de algumas variáveis de operação e sugeridas algumas alterações relativamente ao procedimento atual, caso dos tecidos 100 % algodão. No caso dos tecidos

poliéster/algodão não foi feita uma análise de sensibilidade completa, mas sim uma validação de um novo circuito e das novas condições de branqueamento, definidas pela empresa durante o período de confinamento. Foi ainda analisada de que maneira este novo circuito teve um impacto positivo no meio ambiente e na economia da empresa.

1.4 Organização da Tese

Esta tese encontra-se dividida em 7 capítulos: Introdução, Estado da Arte, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão, Balanço Económico e Conclusões e Avaliação do trabalho realizado.

No Capítulo 1 é apresentada uma breve introdução do trabalho e apresentação da empresa.

No Capítulo 2 é apresentada a pesquisa bibliográfica necessária para o projeto sendo feita uma explicação mais pormenorizada da indústria têxtil, colorimetria e branqueamento.

O processo aplicado em laboratório e em produção é apresentado no Capítulo 3, assim como os materiais utilizados.

Os resultados obtidos encontram-se no capítulo 4 e no capítulo 5 o balanço económico às novas condições.

O projeto culmina com as conclusões obtidas, apresentadas no capítulo 6 e 7.

Por último, são apresentadas as referências bibliográficas que auxiliaram o trabalho.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 Fibras Têxteis

A fibra têxtil é o ponto de partida para a produção dos mais variados artigos têxteis, como fios, tecidos e malhas. Dividem-se em fibras têxteis naturais, quando são provenientes da natureza, e em não-naturais, quando são produzidas pelo Homem [5]. Na Figura 1 estão esquematizados os diferentes tipos de fibras, estando presentes alguns exemplos.

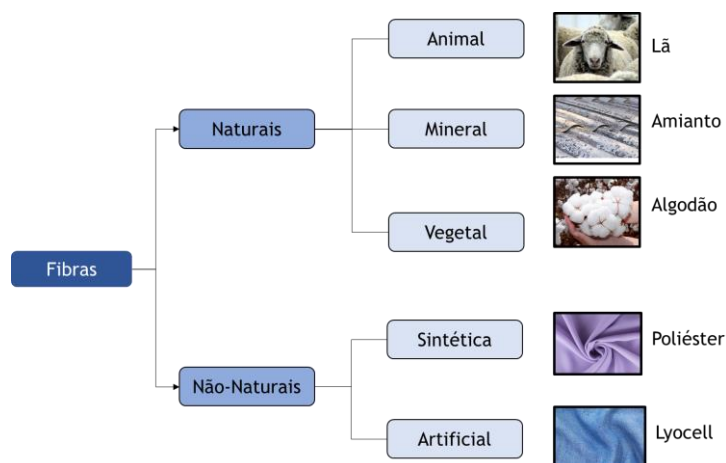


Figura 1 - Classificação dos tipos de fibras têxteis existentes (Adaptado de [5, 6]).

2.1.1 Fibras de Algodão (CO)

A fibra de algodão é a fibra natural mais utilizada mundialmente e é a forma mais pura de celulose cuja estrutura química está apresentada na Figura 2, tratando-se de uma estrutura simples no campo dos polissacarídeos.

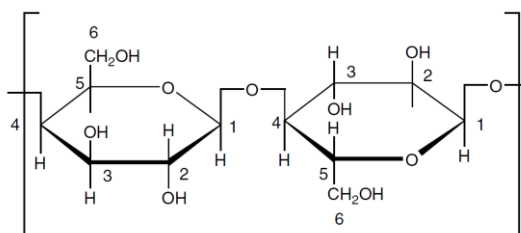


Figura 2 - Estrutura química da celulose [7].

As ligações C-O-C existentes na estrutura química da celulose promovem a rigidez e a alta cristalinidade deste polissacarídeo. Os grupos hidroxilo, por sua vez, conferem propriedades químicas cruciais, pois são responsáveis pelas reações químicas que ocorrem nos processos de tingimento e acabamentos assim que se ligam à água [7].

O algodão é composto por celulose, entre 88 e 96 %, tratando-se a restante percentagem de impurezas que são introduzidas aquando do processo têxtil [7, 8].

2.1.2 Fibras de Poliéster (PES)

O tereftalato de polietileno, conhecido como PET, representado na Figura 3, obtido através da condensação do ácido tereftálico com o etilenoglicol, compõe o poliéster, que é a fibra sintética com mais relevância no setor têxtil.

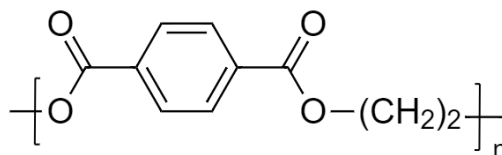


Figura 3 - Estrutura química do PET.

As fibras de poliéster fornecem ao tecido uma elevada resistência mecânica bem como boa estabilidade dimensional (quando o tecido é termofixado) e alta elasticidade.

São resistentes à temperatura e a alguns agentes químicos. Por outro lado, estas fibras fazem com que o tecido apresente uma elevada eletricidade estática e uma baixa absorção de água [9]. A estes pontos positivos aliam-se uma maior proximidade de sustentabilidade, uma vez que a percentagem de poliéster reciclado no mercado tem vindo a aumentar [10].

2.1.3 Fibras de Poliamida (PA)

As fibras de poliamida com maior importância comercial no setor têxtil são as poliamidas 6 e 6,6, também conhecidas por *Nylon 6* (Figura 4a) e *Nylon 6,6* (Figura 4b) [10]. A poliamida 6 é um polímero de condensação e a poliamida 6,6 é um copolímero de condensação, cujas estruturas moleculares são apresentadas na Figura 4.

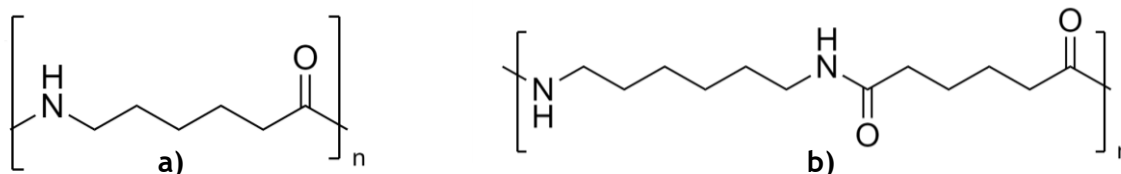


Figura 4 - Estrutura química do Nylon 6 (a) e do Nylon 6,6 (b).

A poliamida 6 apresenta uma baixa absorção de humidade e uma elevada resistência mecânica, sendo geralmente utilizada em roupa interior e meias. A poliamida 6,6 é fácil de processar e útil na fabricação de peças informáticas. Em geral, destacam-se pela elevada elasticidade e leveza proporcionando ao material uma boa estabilidade dimensional [10]. Permite ainda o fabrico de tecidos com variados aspetos visuais e toques devido à possibilidade de texturização.

2.1.4 Constituição de um Tecido

Um tecido é formado por um conjunto de fios com coesão suficiente para garantir a resistência do material. Estes apresentam dois conjuntos de fios entrelaçados entre si, em que os que se encontram ao longo do comprimento do tecido constituem a teia e os fios ao longo da largura constituem a trama, tal como é esquematizado na Figura 5 [11].

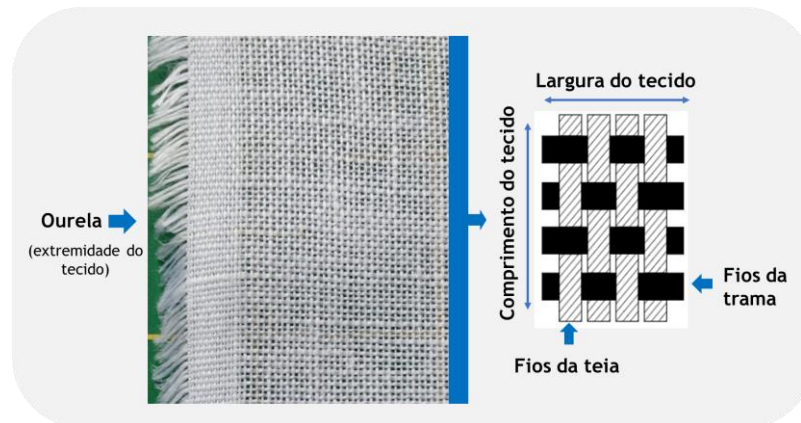


Figura 5 - Estrutura de um tecido (Adaptado de [11]).

2.2 Processo Têxtil

O conhecimento dos fatores químicos e dos fenômenos físicos associados aos processos têxteis é essencial para entender o procedimento complexo que dá origem ao produto final. O processo têxtil começa pela transformação das fibras têxteis em fios (fiação) sendo seguida da transformação dos fios em tecido (tecelagem) [12]. Por fim, antes de seguir para o processo de confecção, o tecido passa pela fase de ultimização. Esta fase compreende a preparação, tingimento e acabamento do tecido [12, 13].

A preparação do tecido consiste na remoção de impurezas, na melhoria da estrutura do tecido ou na realização de outras operações, tais como o enrolamento, secagem ou branqueamento. Em segundo lugar, o tecido passa para a fase de tingimento, onde é tingido tendo em conta a tonalidade desejada e, por fim, segue para a fase de acabamento, onde o tecido adquire as propriedades pretendidas pelo cliente [13, 14].

2.2.1 Preparação

Nesta fase, o artigo em cru segue um circuito de preparação, que irá depender do tipo de artigo e da sua constituição [14]. Para que o processo de tingimento apresente bons resultados é necessário remover do interior das fibras as impurezas existentes, melhorar a estrutura para aumentar a resistência e até remover a cor natural do material (branqueamento) [14, 15].

O processo de preparação começa com o enrolamento, que consiste na transferência do tecido para o cavalete, facilitando o manuseamento do tecido ao longo do processo [14].

As restantes operações pelas quais o tecido poderá passar, dependendo do seu circuito, estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 - Operações envolvidas no processo de preparação de um tecido.

Operações do processo de preparação		Ref.
Gasagem	O tecido é passado rapidamente por uma chama que elimina fibras soltas, permitindo diminuir a formação de borboto.	[14]
Desencolagem	Elimina-se a goma introduzida nos fios que conferiu resistência ao fio durante o processo de tecelagem. Este processo confere ao artigo um toque mais suave. Os encolantes introduzidos podem ser eliminados por desencolagem enzimática, através da utilização de enzimas alfa-amílase para remover encolantes, como o amido ou por lavagem alcalina para outros componentes.	[5]
Mercerização	Otimização das características da fibra de algodão, nomeadamente, o brilho, afinidade aos corantes e a resistência, através da passagem do tecido sob tensão num banho de soda cáustica entre 28 a 32 °Be (Graus Baumé - medida hidrométrica para a densidade de líquidos).	[14]
Caustificação	Tratamento de artigos de algodão com uma solução alcalina de soda cáustica (hidróxido de sódio), a uma concentração inferior à usada na mercerização e superior à usada na fervura alcalina, a temperatura elevada melhorando a absorção de corantes.	[5]
Termofixação	Processo essencial para artigos com fibras termoplásticas, como o poliéster, elastano e poliamidas, onde ocorre a relaxação das tensões previamente introduzidas no processo de fabrico dando estabilidade dimensional aos tecidos. É feita numa râmola a uma temperatura dependente do tipo de fibra do tecido.	[5]
Branqueamento	Neste processo dá-se a remoção da cor natural da fibra que por apresentar na sua constituição celulose exibe uma coloração amarelada, como se verifica no caso do algodão.	[5]
Secagem	Após o branqueamento e entre processos de tingimento de tecidos é necessário secar o material, pois quando saem das máquinas estão molhados. A secagem dá-se em râmolas.	[14]

2.2.2 Tinturaria

A secção da tinturaria está separada em processos contínuos e em processos por esgotamento. O processo começa com a imersão do tecido no banho de tingimento no qual o material absorve alguns comprimentos de onda e reflete outros. Após a imersão, o tecido passa por uma fase de montagem em que as partículas de corante da fase líquida se movem até ao material e se ligam à superfície da fibra. De seguida, ocorre a difusão/migração, onde se dá a penetração do corante até ao interior da fibra. Por fim, dá-se a fixação das partículas do corante à fibra [14].

O tipo de corante usado no processo de tinturaria depende da composição do tecido, uma vez que diferem no modo de fixação à fibra.

Na Figura 6 estão representados os tipos de tecidos e os respectivos corantes mais adequados para o seu tingimento.

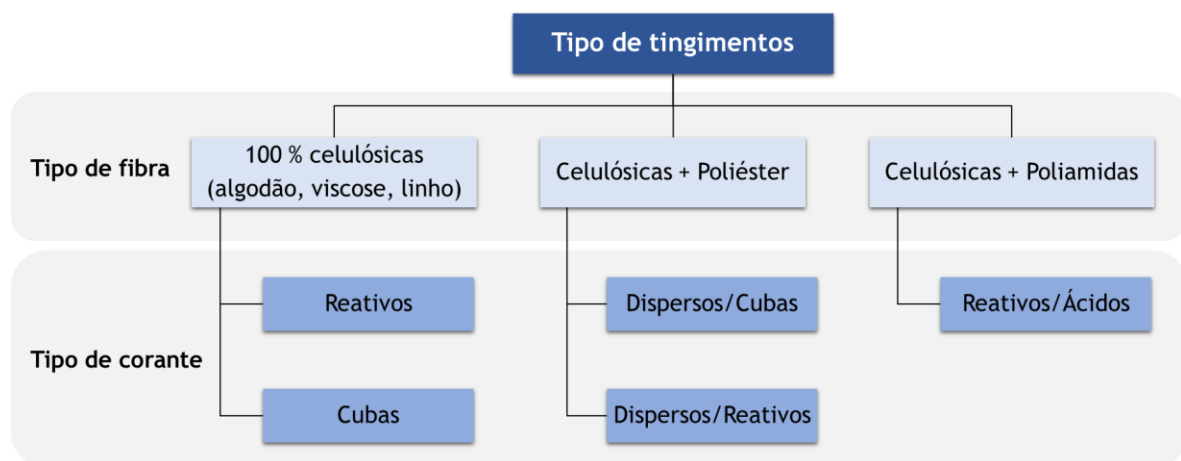


Figura 6 - Tipos de tingimentos e corantes [14].

2.2.3 Acabamentos

Os acabamentos de um tecido podem ser efetuados por processos químicos e/ou mecânicos.

Quando se aplica um produto químico sobre o tecido por impregnação/fourlardagem, isto é, o banho é forçado a penetrar no interior de tecidos a partir de cilindro, trata-se de um processo químico pois modifica o tecido física e/ou quimicamente. No caso de um processo mecânico, este modifica o aspeto/toque do tecido, ou seja, modifica as suas características físicas [14, 15].

Estes processos encontram-se listados na Figura 7.



Figura 7 - Tipos de acabamentos [14-16].

2.3 Colorimetria

Na indústria têxtil a colorimetria, tecnologia utilizada para quantificar e descrever a cor [17], é uma ferramenta essencial para a medição de cores e para a preparação de banhos de tingimento.

A percepção de cor começa quando as células sensíveis na retina do olho absorvem a luz e culmina quando o córtex visual do cérebro interpreta os impulsos nervosos transmitidos como uma cor [17]. A percepção da cor depende de três fatores:

- A distribuição de comprimentos de onda da fonte de luz que iluminam o objeto;
- O grau de transmissão ou reflexão de cada comprimento de onda de luz incidida, pelo objeto;
- A resposta visual do olho do observador aos comprimentos de onda de luz absorvidos.

2.3.1 Fontes de Luz/Illuminantes

A cor está diretamente relacionada com uma fonte de luz denominada iluminante. Os iluminantes são uma distribuição de energia espectral e em colorimetria fazem-se medições de cor num espectrofotómetro sob fontes de luz normalizadas. Os iluminantes mais utilizados são o D65 (Luz normalizada do dia), TL-84 (Luz fluorescente padronizada de Philips) e o iluminante A (Luz normalizada da lâmpada incandescente).

2.3.2 Sistema CIE XYZ

O sistema CIE (Comissão Internacional de Iluminação) é utilizado para descrever a cor. Em 1931, a CIE construiu um sistema de valores cromáticos (valores tristímulus) X , Y e Z que são proporcionais às três cores primárias: vermelho, verde e azul, respetivamente.

Através das coordenadas cromáticas x e y , calculadas através dos tristímulus tal como indicado na Equação (1), foi criado o diagrama de cromaticidade CIE, representado na Figura 8 [17, 18].

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z} \text{ e } x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (1)$$

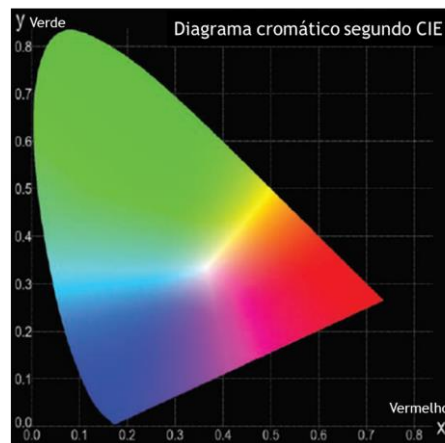


Figura 8 - Diagrama de cromaticidade CIE [18].

Este sistema apresenta um entrave devido à não uniformidade visual do espaço de cor, o que implica que muitas vezes a distância entre duas cores com as mesmas características seja superior em relação a cores com características diferentes.

2.3.3 Sistema CIELab

O sistema desenvolvido em 1976, pretende melhorar a uniformidade visual, transformando as coordenadas X , Y e Z . Trata-se de um sistema de coordenadas retangulares, cujos eixos são designados por:

- L^* , luminosidade, cujos valores estão compreendidos entre 0 (preto perfeito) e 100 (branco perfeito);
- a^* , coordenada colorimétrica verde-vermelho, onde valores positivos indicam que a cor tende mais para o vermelho e os valores negativos indicam que a cor tende mais para o verde;
- b^* , coordenada colorimétrica amarelo-azul onde valores positivos indicam que a cor é amarelada e os valores negativos indicam que a cor é azulada.

Na Figura 9 encontram-se representados os eixos referidos.

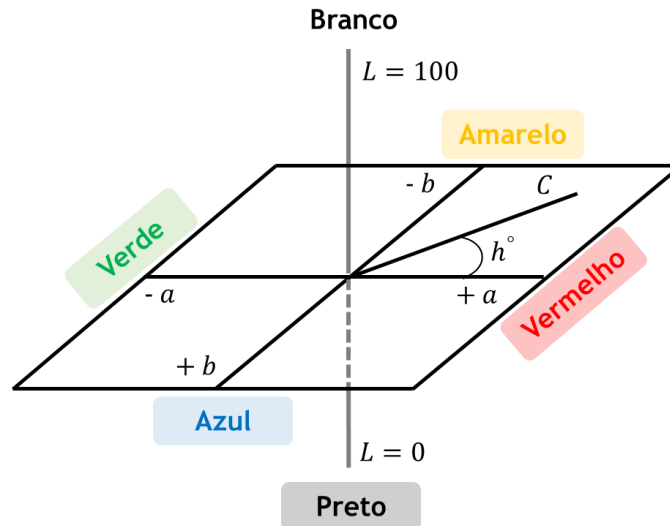


Figura 9 - Significado geométrico das coordenadas $L^*a^*b^*$. Adaptada de [18].

Através das coordenadas L^* , a^* e b^* é possível calcular a diferença total de cor, ΔE^* , entre a amostra e o padrão [18]:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (2)$$

Onde:

$$\Delta L^* = L^*(amostra) - L^*(padrão) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = a^*(amostra) - a^*(padrão) \quad (4)$$

$$\Delta b^* = b^*(amostra) - b^*(padrão) \quad (5)$$

Atualmente, é mais utilizado o sistema de coordenadas cilíndricas, onde as coordenadas colorimétricas podem ser definidas por L^* , h° e C^* , onde h° e C^* correspondem à tonalidade (*Hue*) e à saturação (*Chroma*) da cor [17, 18]. As expressões matemáticas que definem o sistema são as seguintes:

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (6)$$

$$\Delta C^* = C^*(amostra) - C^*(padrão) \quad (7)$$

$$\Delta h^\circ = \sqrt{(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2} \quad (8)$$

2.4 Branqueamento

Os branqueamentos químicos e/ou óticos fazem parte da fase de preparação do tecido que posteriormente seguirá para as próximas fases [15, 16].

As fibras naturais absorvem mais luz na região azul do espectro visível devido às impurezas presentes na fibra. Consequentemente, registam um tom amarelado que não é muito desejável que pode ser resolvido com o branqueamento [19].

2.4.1 Branqueamento Químico

O branqueamento químico é uma das fases terminais do tratamento prévio na indústria têxtil. A cor natural da fibra de algodão é eliminada através de um processo oxidativo dos pigmentos amarelados e de eliminação de impurezas que restam no material [14, 15]. Caso se pretenda um nível de branco muito elevado, é sugerido submeter o algodão a um ou vários branqueamentos químicos e um branqueamento ótico.

Os processos de branqueamento químico dividem-se em branqueamento oxidativo e redutivo, estando os diferentes processos representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tipos de branqueamentos químicos [20].

Branqueamento oxidativo	Branqueamento redutivo
Peróxido de hidrogénio (H ₂ O ₂)	Hidrossulfito de sódio (Na ₂ S ₂ O ₄)
Hipoclorito de sódio (NaClO)	
Clorito de sódio (NaClO ₂)	Sulfoxilatos
Ácido peracético (CH ₃ CO ₃ H)	

Atualmente, o branqueamento químico é feito, maioritariamente, por via oxidativa, com recurso a peróxido de hidrogénio, por ser um processo que fornece aos tecidos um bom grau de branco e maior compatibilidade com outros químicos utilizados na fase de preparação.

2.4.2 Branqueamento Ótico

Os branqueadores óticos - *optical brightening agents* (OBA's), são aplicados ao substrato na fase de preparação ou são incorporados em banhos de acabamentos. Estas substâncias químicas são "ilusionistas", pois absorvem a luz ultravioleta (fenómeno de fluorescência), sendo posteriormente, transmitida sob a forma de luz visível, transmitindo a sensação de brancura.

Um branqueador ótico é um componente que, quando aplicado a um material têxtil, absorve num comprimento de onda eletromagnética de 300 a 400 nm, invisível ao olho humano e emite luz visível num comprimento de onda entre 400 e 500 nm. Esta luz emitida pode ser violeta, azul puro ou azul esverdeado como se pode verificar na Figura 10, no espectro eletromagnético.

Quando esta radiação é combinada com o tom “amarelado” de um material têxtil, forma-se um branco brilhante [21].

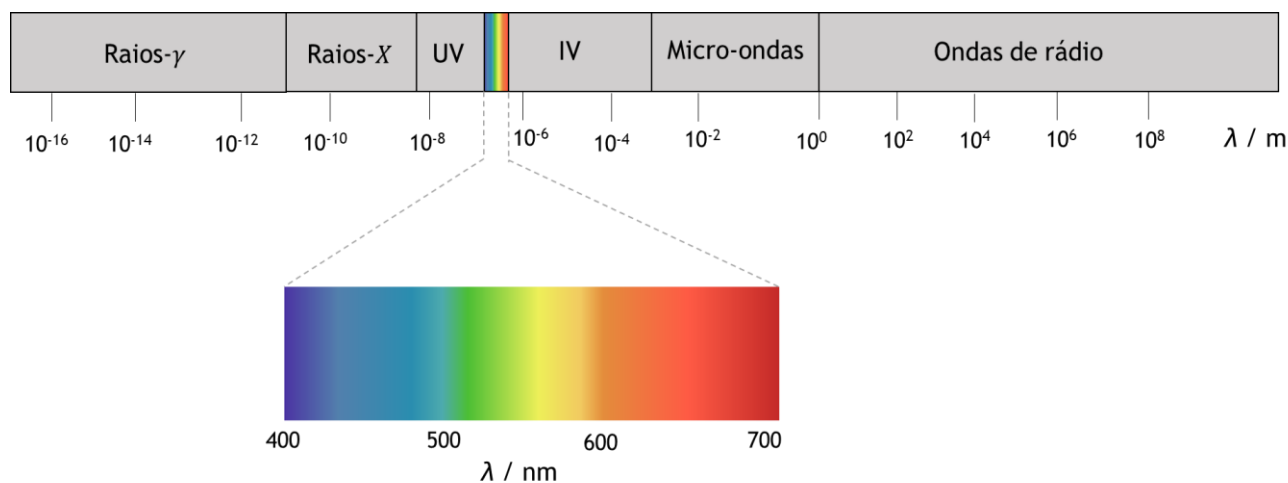


Figura 10 - Espectro eletromagnético.

A energia ultravioleta absorvida por um branqueador ótico é superior à energia reemitida, sendo que a restante energia é convertida em calor. No processo de absorção dá-se a excitação das moléculas, onde as moléculas do branqueador ótico, passam para um estado eletrônico excitado. Quando estas moléculas regressam ao estado fundamental, verifica-se a emissão de energia, dando origem ao processo de fluorescência. Este processo é ilustrado pelas Equações 9 e 10 onde OBA e OBA^* representam os estados eletrônicos normal e excitado, respetivamente, do agente branqueador. Esta quantidade de energia pode ser quantificada pela Lei de Planck, apresentada em (11), onde h é a constante de Planck, c a velocidade da luz e ν e λ correspondem à frequência e ao comprimento de onda, respetivamente, da luz absorvida ou emitida.



$$\text{Energia da luz} = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (11)$$

2.4.2.1 Refletância

A refletância de um material mede a quantidade de energia que uma superfície reflete para um dado comprimento de onda. Para o caso de um tecido óticamente branqueado, a curva de refletância apresenta valores superiores a 100 % para comprimentos de onda entre os 400 e os 500 nm. A luz refletida, juntamente com a fluorescência, faz com que a superfície do material emita mais luz do que que aparentemente incide nele, traduzindo-se numa impressão de tecido branco brilhante [17].

A comparação das curvas de refletância entre um tecido de algodão cru, branqueado quimicamente e branqueado óticamente está representado na Figura 11.

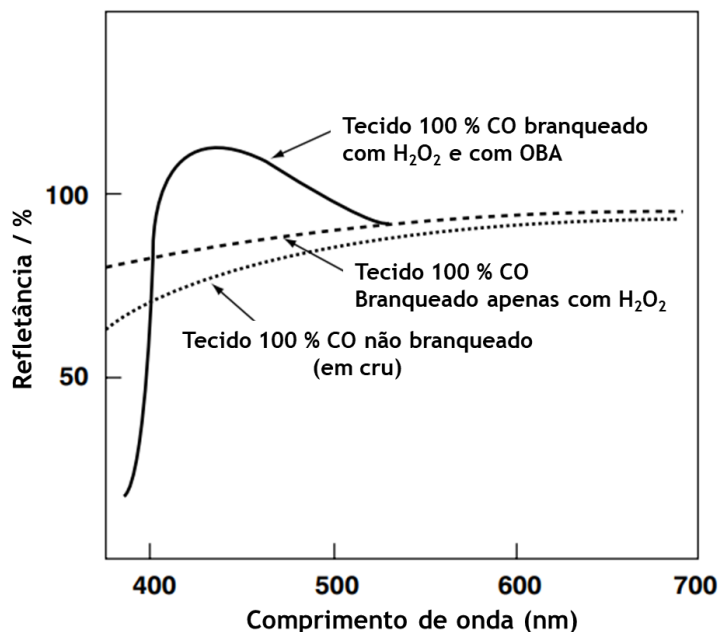


Figura 11 - Gráfico de refletância em função do comprimento de onda de um tecido de algodão branqueado, branqueado com peróxido de hidrogênio e branqueador ótico e de um tecido em cru [17].

2.4.2.2 Aplicabilidade dos OBA's

Os branqueadores são aplicáveis à maior parte dos tipos de fibras de algodão, poliéster, nylon, seda, lã, entre outros, e estima-se que exista um consumo mundial de branqueadores óticos acima das 200 mil toneladas anuais, sendo que 25 % desse valor é utilizado na indústria têxtil. Para além do setor têxtil, 40 % da produção de branqueadores é usada em detergentes domésticos, 30% na indústria do papel e os restantes 5 % nas indústrias de fibras e plástico, com o objetivo principal de incrementar o branco dos produtos e remover possíveis manchas [22].

A maior parte dos branqueadores não apresenta fluorescência na forma de pó, mas sim em solução, sendo que alguns só apresentam esta característica após serem aplicadas na fibra [21]. A quantidade de branqueador a aplicar num tecido deve ser tida em conta, uma vez que uma quantidade exagerada destes compostos leva a que o tecido apresente um tom mais esverdeado.

Uma vez que o mercado de branqueadores óticos é vasto, a escolha deve basear-se em fatores como o material que vai ser tingido (tipo de fibra), o processo a que o material vai ser sujeito e o equipamento disponível na indústria. A sua respetiva eficiência e eficácia depende de variáveis como a concentração, tempo de tingimento, temperatura, teor de eletrólitos, interação com outros químicos e o pH [20].

2.4.2.3 Química dos Branqueadores Óticos

Os branqueadores óticos baseiam-se em estruturas com anéis aromáticos e aproximadamente 80 % destes derivam do estilbena (Figura 12.a) e b)). A estrutura química dos OBA's derivados do estilbena caracteriza-se por uma ligação dupla com um grupo fenil em ambos os átomos de carbono [21, 23]. Trata-se do grupo cromóforo do branqueador onde as transições eletrônicas induzidas pela absorção de luz na região UV acontecem. As propriedades óticas dos OBA's podem ser modificadas pelos substituintes que o compõem, promovendo uma intensificação da fluorescência dependendo da sua localização no cromóforo [24].

Os branqueadores mais adequados para os tecidos de algodão são os derivados do ácido 4,4'-diaminoestilbena-2,2'-dissulfônico (Figura 12.c)), composto derivado do estilbena com grupos sulfônicos (-SO₃H) e amino (-NH₂) [25]. Quanto maior o número de grupos sulfônicos no OBA maior é a solubilidade, estabilidade a pH mais baixo e maior o limite à saturação. Os OBA's podem também ser derivados de outros cromóforos, sendo que usualmente os OBA's destinados a fibras sintéticas e celulósicas são derivadas do diestirilbenzeno (Figura 12.d)).

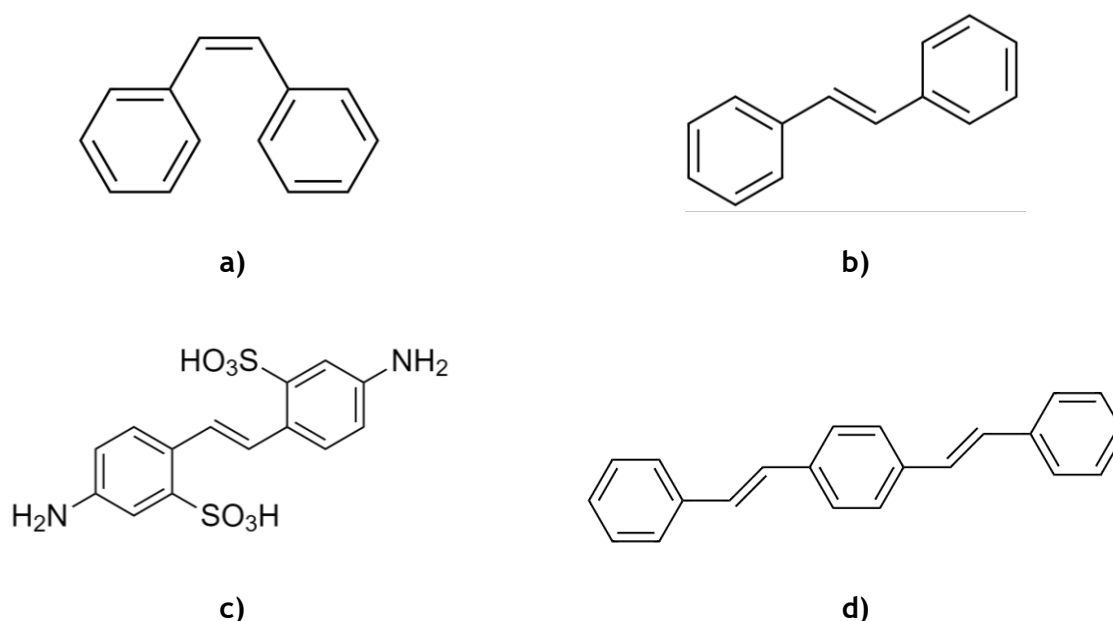


Figura 12 - Estrutura química do a) *cis*-estilbena, b) *trans*-estilbena, c) DAS - (Ácido 4,4'-Diaminoestilbena-2,2'-Dissulfônico) e d) diestirilbenzeno

Os branqueadores óticos em configuração *trans* devem ser protegidos da luz uma vez que se podem converter para a configuração *cis*, que não consegue penetrar nas fibras de algodão, tornando-se inativo em termos de fluorescência [26].

2.4.2.3 Grau de Brancura

O grau de brancura de um artigo têxtil pode ser medido através de várias equações matemáticas existentes, tais como Ganz-Griesser, Berger, Stemby ou CIE.

Em 1959, *Berger*, desenvolveu uma fórmula pela qual é possível calcular o grau de brancura, *WI* (*Whiteness Index*), que é dada pela Equação 12 [27].

$$WI = Y + aZ - bX \quad (12)$$

Nesta equação, *X*, *Y* e *Z* são os valores tristímulus referidos anteriormente. Os parâmetros *a* e *b* dependem se o campo de visão é de 2 graus (1931) ou de 10 graus (1964) e são apresentados na Tabela 3 [27].

Tabela 3 - Valores dos parâmetros para a Equação de Berger para o iluminante D65 [17].

	<i>a</i>	<i>b</i>
2 graus	3,440	3,895
10 graus	3,448	3,904

Em 1981, a CIE, de modo a uniformizar o cálculo do grau de brancura estabeleceu uma fórmula standard para o cálculo do grau de brancura, W_{CIE} , estabeleceu uma fórmula *standard* descrita pela expressão apresentada na Equação (13) [27]:

$$W_{CIE} = Y + 800 (x_0 - x) + 1700 (y_0 - y) \quad (13)$$

Onde *Y* é o valor do tristímulo, (*x*, *y*) são as coordenadas cromáticas no espaço de cor CIE e (*x*₀, *y*₀) as coordenadas cromáticas de um difusor perfeito, que para o iluminante D65, são dadas por 0,314 e 0,331 [27].

Foi também estabelecida uma fórmula para o cálculo da tonalidade, T_{CIE} , para a comparação de brancos semelhantes, dada por [27]:

$$T_{CIE} = A (x_0 - x) - B (y_0 - y) \quad (14)$$

Onde *A* e *B* são parâmetros que dependem do observador como se pode verificar na Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros da equação de tonalidade CIE para os dois observadores [27].

	<i>A</i>	<i>B</i>
2 graus	1000	650
10 graus	900	650

Para valores positivos de T_{CIE} conclui-se que o tecido apresenta uma tonalidade esverdeada e para valores negativos conclui-se que o tecido tem uma tonalidade avermelhada.

3 Materiais e Métodos

3.1 Substrato

Durante este trabalho foi usado sempre o mesmo tecido base para os testes em tecidos 100 % algodão. Nos testes em tecidos poliéster/algodão foram usados 4 tecidos base com diferentes percentagens, um deles com 52 % de poliéster e 48 % de algodão e os restantes com 65 % de poliéster e 35 % de algodão. Todos estes tecidos foram branqueados quimicamente na secção de preparação da empresa.

3.2 Branqueadores Óticos

Para este estudo foram escolhidos os dois OBA's mais utilizados tanto para os tecidos 100 % algodão como para os constituídos por misturas de poliéster e algodão.

Na Tabela 5 estão apresentados estes 4 branqueadores óticos, a respetiva designação atribuída ao longo deste trabalho e sua aplicabilidade. As restantes características químicas estão descritas no Anexo A.

Tabela 5 - Branqueadores óticos utilizados.

	Nome do OBA	Designação atribuída	Aplicabilidade
Testes 100 % CO	White CCB-V	OBA Matizado	Adequado para fibras celulósicas (algodão, linho, viscose) ou para misturas de fibras celulósicas/sintéticas especialmente poliéster/algodão.
	BMR Liquid	OBA Neutro	Adequado para fibras celulósicas com tons violetas/avermelhados e para misturas poliéster/algodão.
Testes PES/CO	PET B	OBA B	Misturas poliéster/algodão.
	PET R	OBA R	Misturas poliéster/algodão.

3.3 Banhos de Acabamento

Os banhos de acabamento (BA) são, usualmente, compostos por químicos que conferem ao tecido características pretendidas pelo cliente, tais como amaciadores, resinas, entre outros, denominados produtos auxiliares. Como já foi referido na secção anterior, os branqueadores

óticos são incorporados nestes banhos, fornecendo ao tecido o grau de brancura e a tonalidade pretendida pelo cliente, juntamente com o acabamento pretendido, cujos alguns exemplos são mencionados na Secção 2.2.3.

Durante este projeto foram utilizados diferentes tipos de banhos de acabamento, cuja preparação foi feita em gobelés de 200 ml com o auxílio de uma balança. Foi medida a quantidade necessária de cada produto, sendo depois o volume perfeito até aos 200 ml com água. De seguida, foram homogeneizados com o auxílio de um agitador magnético e utilizados imediatamente.

3.4 Equipamentos

3.4.1 *Foulard*

A foulardagem consiste na passagem do tecido através de rolos onde se encontra o banho de tingimento/acabamento. O banho é impregnado no interior do material têxtil através da pressão exercida nos rolos, que entra no *foulard* numa posição horizontal

Na Figura 13 encontra-se o *foulard* utilizado no laboratório para impregnar o banho de acabamento com ótico em todas as amostras ao longo do trabalho, da marca Mathis AG.



Figura 13 - *Foulard* do laboratório de tinturaria da MGC - AT.

3.4.2 Mathis de Secagem e de Termofixação

Após o banho de acabamento ser impregnado no tecido é necessário secar o material no caso dos tecidos 100 % CO e secar e termofixar no caso dos tecidos CO/PES. Na Figura 14, é possível ver a Mathis de Secagem, da marca Mathis AG, utilizada para secar as amostras.



Figura 14 - Mathis de secagem do laboratório da MGC - AT.

3.4.3 Espectrofotômetro

O espectrofotômetro utilizado no laboratório, da marca DataColor 600, está apresentado na Figura 15. Este instrumento destina-se à medição de cores dentro do espectro visível (400-700 nm) permitindo a medição dos espectros de refletância da amostra. Através do programa DataColor Tools é possível obter as coordenadas de cor das amostras que serão posteriormente comparadas com o padrão.



Figura 15 - Espectrofotômetro do laboratório de tinturaria da MGC - AT.

Os dados relativos às amostras são fornecidos tendo em conta os iluminantes D65, A e TL84, mas para este trabalho apenas se considerou os dados relativos ao iluminante D65.

3.5 Processo

Os processos de aplicação do branqueador ótico diferem consoante o tipo de tecido pois, no caso do tecido constituído por fibras 100 % celulósicas, o branqueador permanece à superfície do tecido enquanto que nos artigos poliéster/algodão este penetra nas fibras, influenciando o circuito produtivo.

3.5.1 Circuito Produtivo para os Tecidos 100% Algodão

No laboratório, o primeiro passo é a preparação do banho de acabamento pelo qual o tecido irá passar. De seguida, o tecido passa pelo *foulard* a uma pressão de 3,0 bar e a uma velocidade de $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, tratando-se das condições praticadas atualmente na empresa. Por último, o tecido seca a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 1 minuto. Após a estabilização do tecido, o grau de brancura é lido no espectrofotómetro e a amostra é avaliada visualmente, tal como esquematizado na Figura 16.

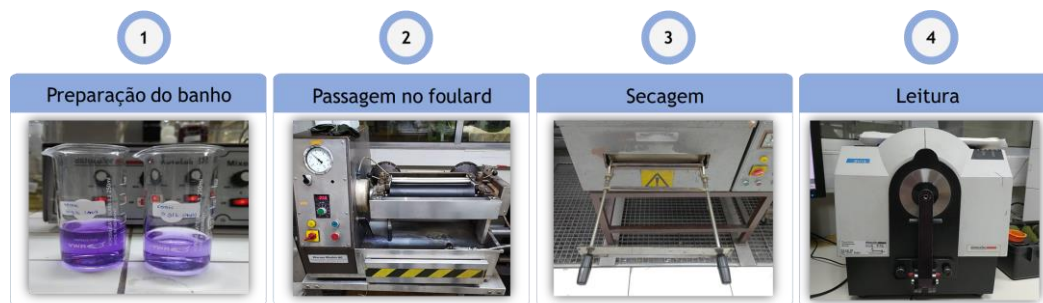


Figura 16 - Processo de aplicação de branqueadores óticos nos tecidos 100% algodão, em laboratório.

Na produção, a preparação do tecido 100 % algodão inicia com uma gasagem (Gaseadeira 1 ou 2) para eliminar as fibras soltas do tecido prevenindo a formação de borbotão. De seguida, o tecido é branqueado (LP5), mercerizado (Mercerizadeira - LP2) e branqueado outra vez. Depois de ser preparado, o tecido segue para o piso dos acabamentos onde é impregnado o banho de acabamento (BA) no tecido.

Caso o banho de acabamento seja constituído apenas por amaciadores, branqueador ótico e outros produtos auxiliares, o tecido é seco a $130 \text{ }^\circ\text{C}$ a uma velocidade de $36 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ e por fim sanforizado para evitar o encolhimento em futuras lavagens. Se o banho de acabamento conter resinas este é seco nas mesmas condições e de seguida polimerizado. No fim, o tecido segue para a máquina Sanfor. Este processo está esquematizado na Figura 17.

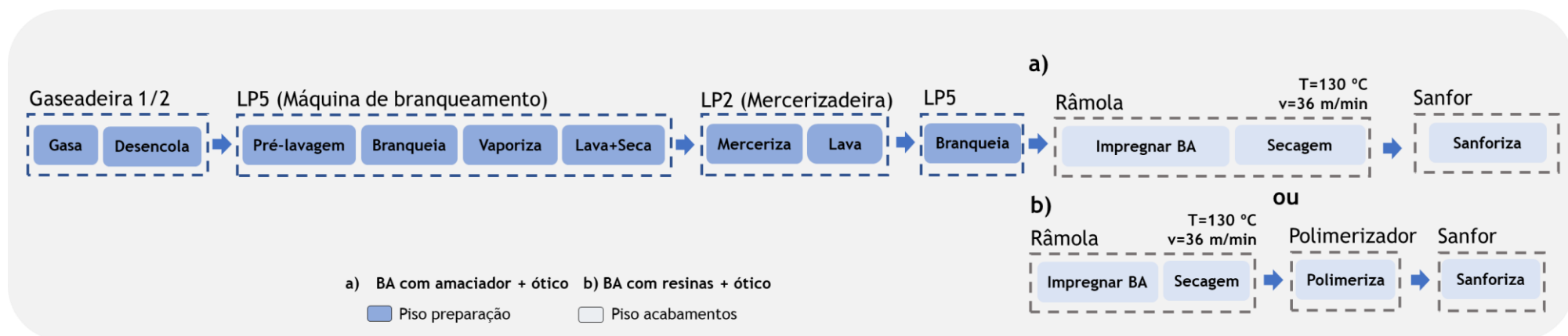


Figura 17 - Circuito produtivo dos tecidos 100 % algodão na produção.

3.5.2 Circuito Produtivo para Tecidos Algodão/Poliéster

Tal como nos tecidos 100 % algodão, primeiro prepara-se o banho de acabamento e o tecido passa pelo foulard a uma pressão de 3,0 bar e a uma velocidade de $3,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. O que difere é que o tecido seca a $130 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 1 minuto e de seguida, termofixa a $180 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 20 segundos. Após a estabilização do tecido, o grau de brancura é lido no espectrofotómetro, tal como está esquematizado na Figura 18. O circuito antigo e o atualmente em prática estão representados na Figura 19.

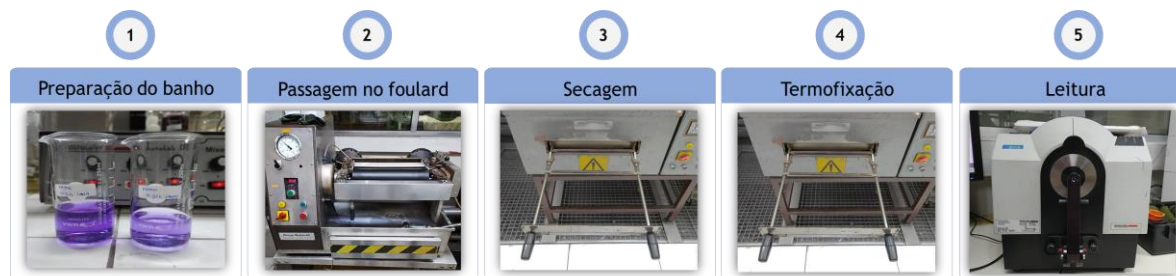


Figura 18 - Processo de aplicação do banho com branqueadores óticos em tecidos PES/CO, em laboratório.

Na produção, o circuito antigo começava com uma gasagem e um branqueamento no piso de preparação, seguindo-se da impregnação do banho de acabamento, da secagem e da termofixação a 200 °C a uma velocidade de 15 m.min⁻¹, no piso dos acabamentos. Depois, o tecido regressa ao piso da preparação para ser branqueado novamente e segue para os acabamentos para secar a 30 m.min⁻¹ a 200 °C e para sanforizar.

No circuito atual, o tecido de poliéster e algodão é branqueado apenas uma vez, facilitando o processo em termos de logística. Já na râmola o tecido é apenas seco uma vez a 130 °C e 35 m.min⁻¹ e termofixado a 180 °C e a uma velocidade de 40 m.min⁻¹.

Assim, em termos comparativos, existem mudanças a nível do número de branqueamentos, na temperatura e velocidade de secagem e na temperatura e velocidade de termofixação, como é possível observar na Figura 19.

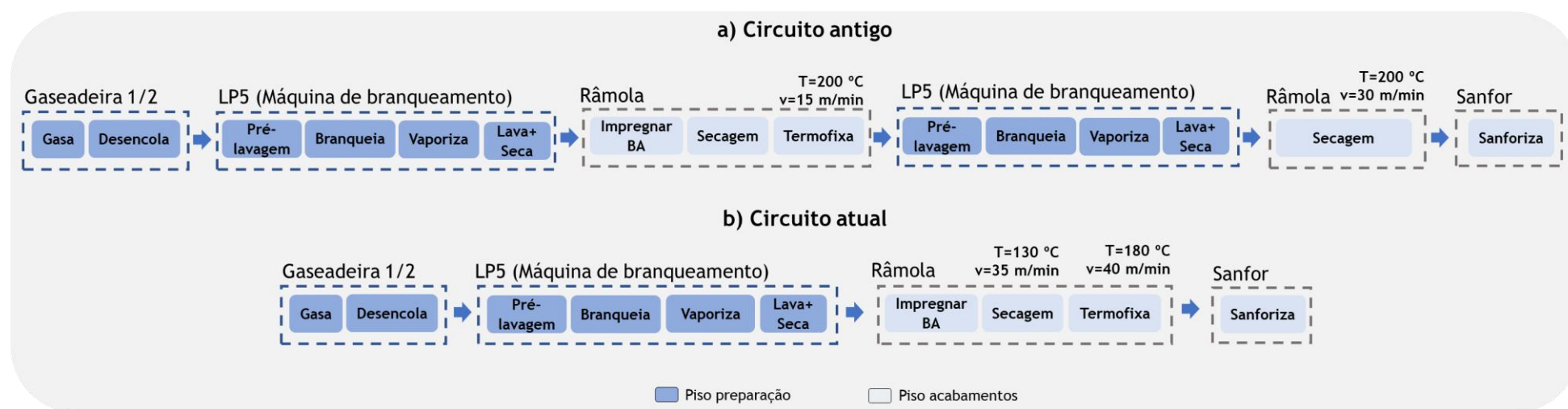


Figura 19 - Circuito produtivo antigo (a) e circuito produtivo atual (b) para os tecidos PES/CO.

4 Resultados e Discussão

O objetivo principal deste projeto foi melhorar a reprodutibilidade laboratório-produção referente ao processo de aplicação dos branqueadores óticos, através de uma análise de sensibilidade aos parâmetros envolvidos no mesmo. Nos tecidos 100 % CO foram estudados os seguintes parâmetros: concentração de OBA, temperatura de secagem, tempo de secagem, pH do banho de acabamento, exposição do banho à luz e a pressão dos rolos do *foulard*. Já nas misturas PES/CO não foi possível realizar o mesmo estudo optando-se por fazer uma validação das novas condições do processo de aplicação dos branqueadores óticos definidos pela empresa e uma avaliação do impacto económico na empresa incitado por esta mudança.

4.1 Efeito da Concentração

Antes de se realizar uma análise de sensibilidade às variáveis que influenciam o processo foi estudada a evolução do grau de brancura com diferentes concentrações de OBA.

A concentração dos OBA's foi variada entre $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ e $15 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, tendo sido os valores lidos no espectrofotómetro para o grau de brancura CIE (WI CIE) e para o grau de brancura Berger (WI Berger) esquematizados na Figura 20.

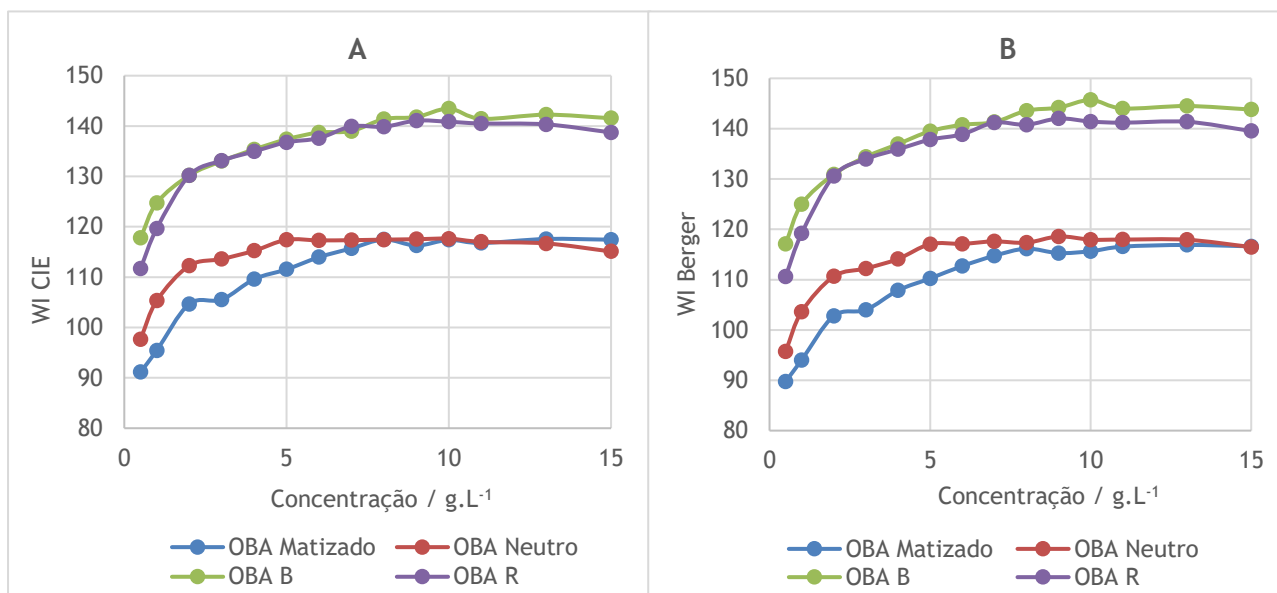


Figura 20 - Dados relativos ao grau de brancura CIE (A) e Berger (B) em função da concentração para os 4 OBA's em estudo.

Pela análise da Figura 20, verifica-se que existe logo uma subida exponencial do grau de brancura para pequenas concentrações de OBA. É possível aferir a partir de que concentração os OBA's atingem a saturação. A partir deste ponto o aumento da quantidade de OBA não produz efeito significativo no valor de brancura, ou seja, o valor do grau de brancura mantém-se constante apesar de se aumentar a concentração.

Conclui-se que o OBA Neutro atinge a saturação a uma concentração de $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ e o OBA Matizado a uma concentração de $8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Já os OBA's destinados aos tecidos PES/CO atingem a saturação a uma concentração de aproximadamente $8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Este estudo permite diminuir gastos desnecessários de branqueadores óticos em laboratório e em produção, nomeadamente nas receitas dos banhos de acabamento, uma vez que existem receitas com concentrações superiores às de saturação.

Para avaliar a tonalidade dos tecidos com o aumento da concentração, foram traçados gráficos com as coordenadas colorimétricas, a^* e b^* em função da concentração, estando o resultado na Figura 21.

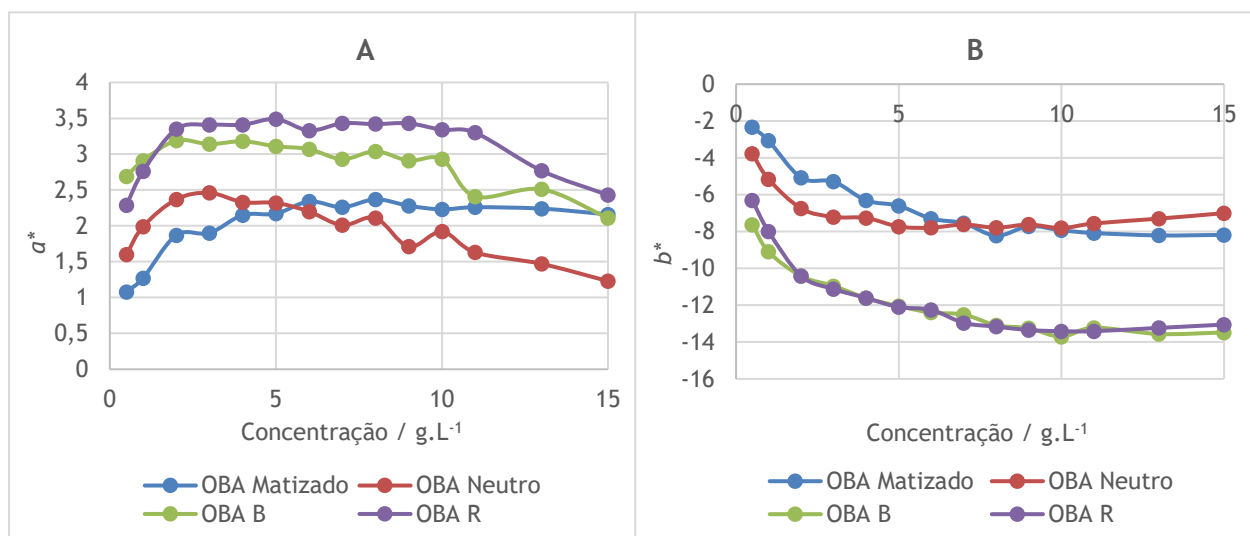


Figura 21 - Variação da coordenada colorimétrica a^* em função da concentração (A); Variação da coordenada colorimétrica b^* em função da concentração (B).

De $0,5$ a $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ verifica-se uma subida mais significativa da coordenada a^* , pois o tecido vai adquirindo um tom mais avermelhado. A partir dos $8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ verificam-se algumas diminuições no valor desta coordenada. Estas diminuições são justificadas pelo excesso de branqueador ótico que faz com que o tecido apresente cada vez mais um tom mais esverdeado - ponto de saturação, que seria ainda mais visível caso se aumentasse ainda mais a concentração. No caso da coordenada b^* , esta vai diminuindo consecutivamente, pois o aumento da

concentração de branqueador ótico leva a que as amostras reflitam mais luz azul. A partir dos $5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ para o OBA Neutro e a partir dos $8 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ para os outros branqueadores verifica-se uma estabilização desta coordenada, tratando-se das concentrações a partir das quais os branqueadores atingem a sua saturação.

4.2 Análise de Sensibilidade - Tecidos 100 % CO

Após uma investigação inicial, averiguou-se quais as variáveis que poderiam ter mais influência no processo de aplicação do branqueador ótico, estudando-se a variação do grau de brancura.

A análise de sensibilidade foi baseada em avaliações visuais na caixa de luz com o iluminante DL65 e com o iluminante MsTL84 e em medições do grau de brancura efetuadas com o espectrofotómetro, para o iluminante DL65 a 10° . Como se tratava de brancos semelhantes foram analisadas também as coordenadas colorimétricas com o objetivo de observar as mudanças de tonalidades.

Estas variáveis foram analisadas para os dois branqueadores óticos 100 % algodão, isolados a $10 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ e para um banho de acabamento utilizado atualmente em produção, que na sua receita compreendem estes dois OBA's juntamente com outros produtos auxiliares, cujas funções, fornecedores e respetivas advertências de perigo estão descritas no Anexo B. O objetivo é, posteriormente, comparar com os valores reais de produção. Na Tabela 6 pode-se verificar quais as variáveis que foram estudadas nas diferentes etapas do processo produtivo.

Tabela 6 - Etapas do circuito produtivo e respetivas variáveis a analisar.

Etapa em análise	Variáveis
Condições do banho	Exposição à luz e pH
Secagem	Tempo e temperatura
Impregnação	Pressão dos rolos

4.2.1 Tempo de Exposição à Luz

Uma vez que é sugerido que as soluções dos banhos de acabamento com branqueadores óticos não sejam expostas à luz para evitar a conversão da molécula na configuração *cis* e consequentemente, a inativação do OBA, avaliou-se de que maneira a aplicação não imediata do banho, influencia o grau de branco. Assim, fez-se um teste com o mesmo banho

imediatamente após ter sido feito, 3 e 6 horas depois, para os 3 casos em estudo. Os resultados são visíveis na Figura 22.

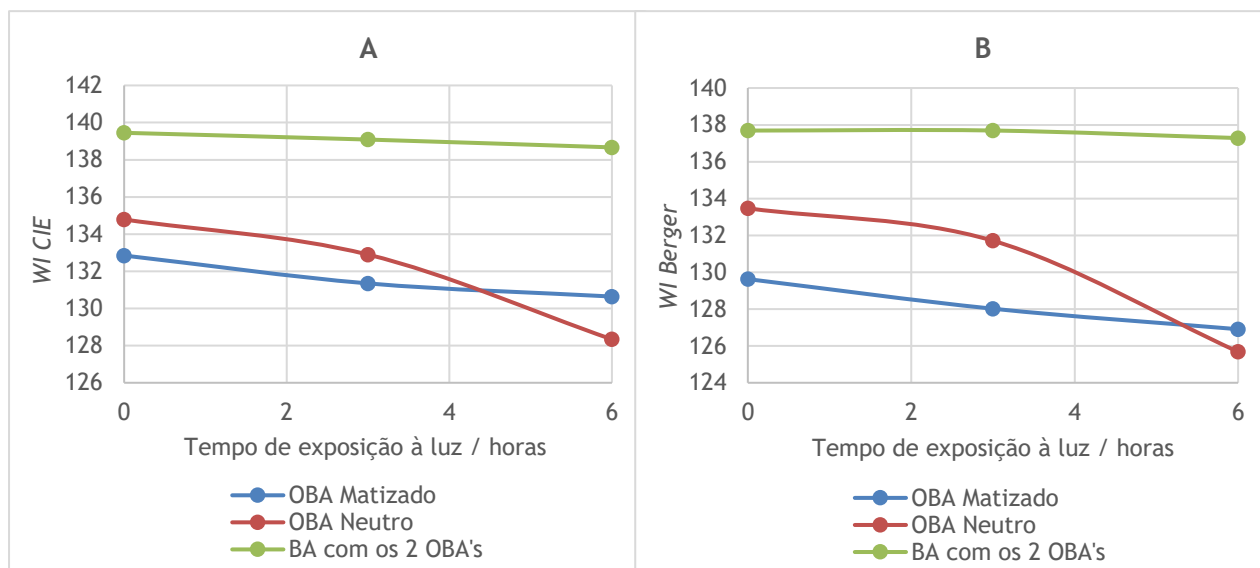


Figura 22 - Influência da exposição do banho de acabamento à luz no grau de brancura CIE (A) e grau de brancura Berger (B).

Como seria de esperar verificaram-se diminuições no grau de brancura pelo que é aconselhado aplicar o banho de acabamento com o branqueador ótico após ser feito.

Verificou-se ainda um ligeiro amarelecimento da amostra devido à diminuição da eficácia do OBA com a exposição, como se pode verificar na Figura 23.

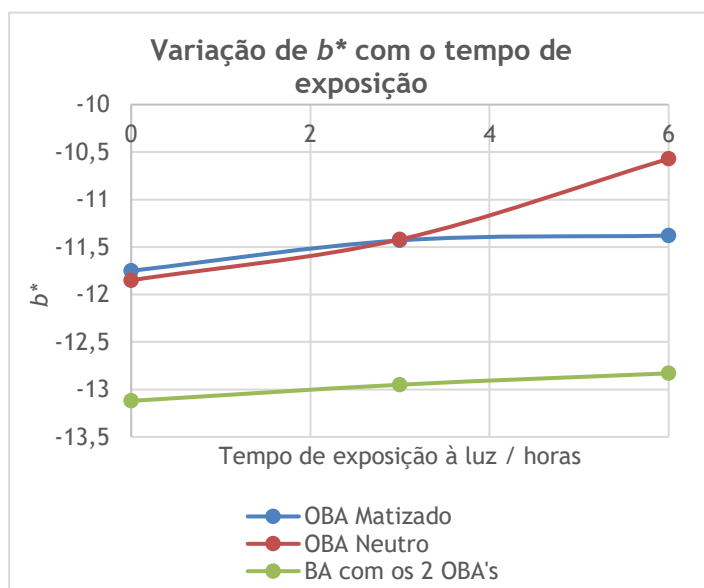


Figura 23 - Dados relativos à coordenada cromática b^* consoante as horas de exposição à luz.

De modo a averiguar as diferenças de cor entre o artigo acabado em laboratório e o artigo acabado em produção, foram medidas as diferenças de cor no espectrofotómetro e registaram-se esses valores, apresentados na *Tabela 7*.

Tabela 7 - Diferenças totais de cor entre o padrão e as amostras consoante o tempo de exposição.

Tempo de exposição / horas	ΔE^*
0	0,32
3	0,21
6	0,31

Embora se tenha verificado algum efeito no grau de brancura e na tonalidade com a exposição, em termos de diferença total de cor, os resultados não são significativos para se considerar este parâmetro crítico para o resultado final.

4.2.2 pH

A variação do pH nos banhos foi feita com o auxílio de uma solução tampão ácida, empregue no BA utilizado, que garante o meio ácido necessário ao processo. A evolução do grau de brancura CIE e Berger com a variação do pH está representado na Figura 24.

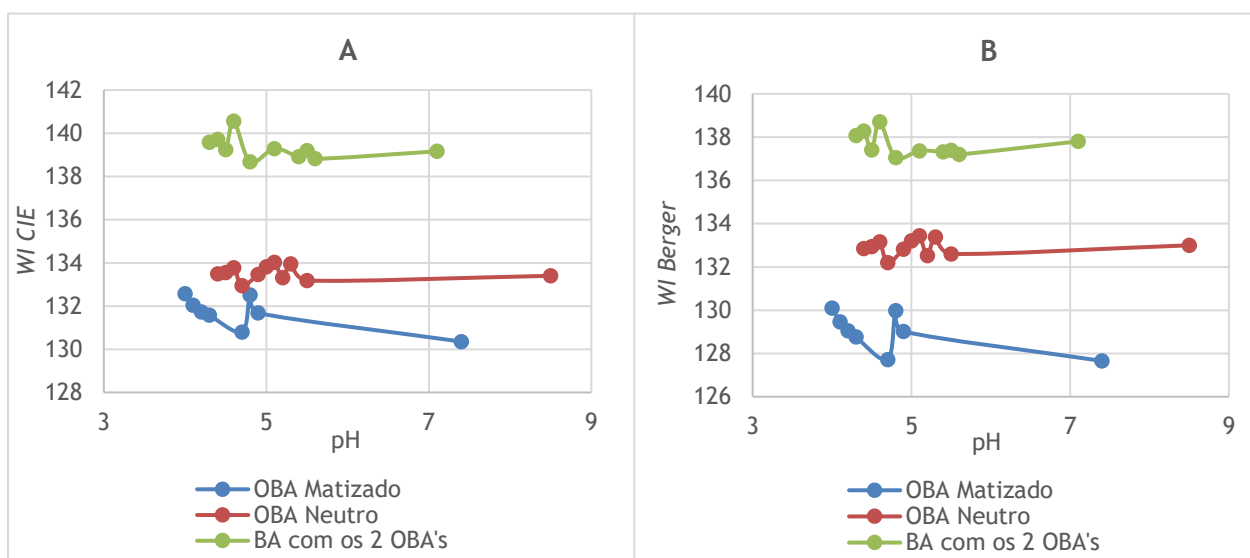


Figura 24 - Influência do pH do banho de acabamento no grau de brancura CIE (A) e Berger (B).

Os valores registados para as diferenças totais de cor entre as amostras e o padrão proveniente da produção para os diferentes valores de pH estão registados na Tabela 8.

Tabela 8 - Diferenças totais de cor entre o padrão e as amostras para os diferentes pH dos banhos.

pH	ΔE^*
7,1	0,19
5,6	0,34
5,5	0,42
5,4	0,27
5,1	0,42
4,8	0,36
4,6	0,28
4,5	0,41
4,4	0,31
4,3	0,32

Pela análise da Figura 24 e da Tabela 8, verificam-se muitas oscilações em termos de grau de brancura e de diferença total de cor, embora estes resultados não sejam lineares. No entanto, é um parâmetro que deve ser na mesma controlado devido à influência no pH final do tecido.

4.2.3 Tempo de Secagem

Depois de aplicado o BA foi necessário secar a amostra, tendo-se feito variar o tempo de secagem entre 60 s (1 minuto) e 180 s (3 minutos), de modo a otimizar o parâmetro. Não se testou para tempos inferiores a 60 segundos por se perceber em testes preliminares que o tecido não secava completamente, nem superiores a 3 minutos por ser o valor limite do cronómetro da *Mathis* de secagem e por não ser relevante secar em demasia o tecido.

Os valores registados para o grau de brancura CIE e Berger estão apresentados na Figura 25.

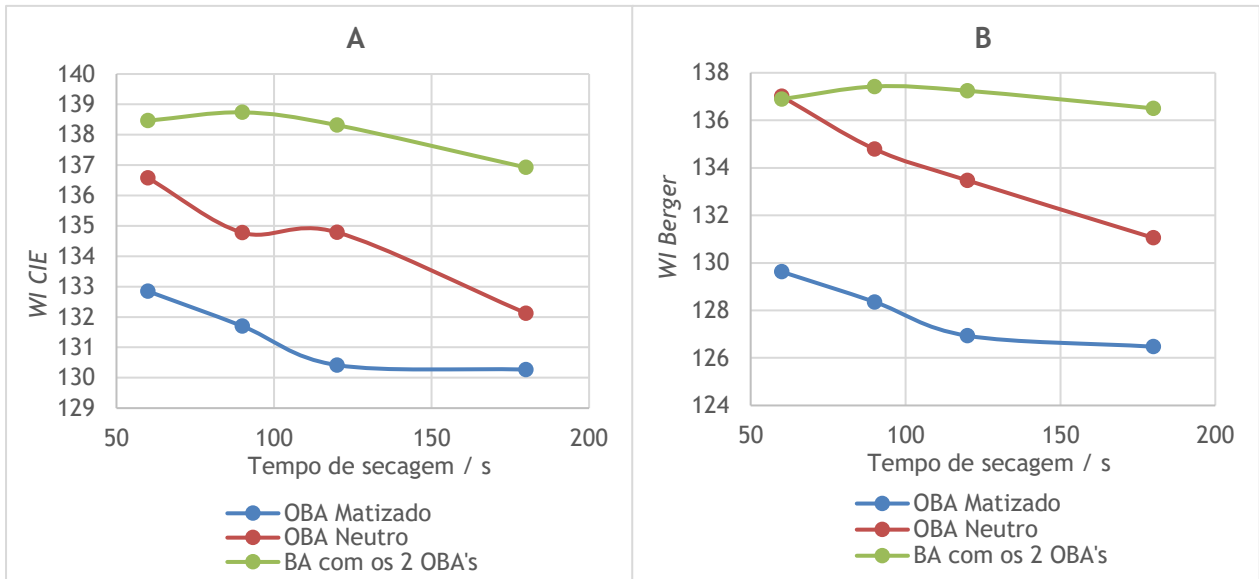


Figura 25 - Influência do tempo de secagem das amostras no grau de brancura CIE (A) e Berger (B).

Pela análise da Figura 25 conclui-se, que para valores superiores a 1 minuto, os valores de brancura decrescem, sendo muito mais visível este decréscimo nas curvas individuais dos OBA's do que no banho, que apenas verifica uma descida mais significativa aos 3 minutos. Para avaliar a evolução da tonalidade do tecido com o aumento do tempo de secagem, traçou-se os gráficos das coordenadas colorimétricas a^* e b^* presentes na Figura 26.

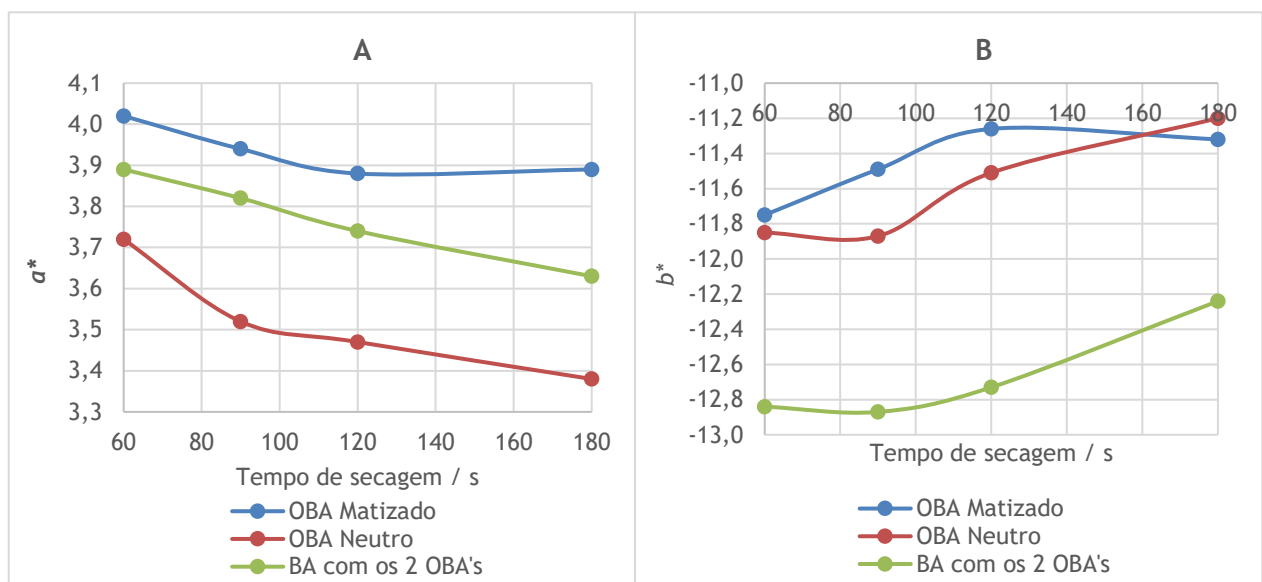


Figura 26 - Variação das coordenadas colorimétricas a^* (A) e b^* (B) com o tempo de secagem.

Com o aumento do tempo de secagem verifica-se, através da Figura 26, que as amostras apresentam um subtom verde (valores de a^* menores) e amarelo (valores de b^* mais positivos), o que justifica a descida do grau de brancura.

Em termos comparativos com a produção, registou-se na Tabela 9, as diferenças de cor para os vários tempos de secagem.

Tabela 9 - Diferenças totais de cor para os vários tempos de secagem.

Tempo de secagem / s	ΔE^*
60	0,32
90	0,27
120	0,42
180	1,05

Com estes valores conclui-se que o tempo de secagem atual (60 segundos) é eficaz devido ao valor de ΔE^* não ser muito significativo. No entanto, esta diferença de cor poderia ser atenuada pelo aumento do tempo de secagem para 90 segundos.

4.2.4 Temperatura de Secagem

Nesta etapa a temperatura a que o tecido é seco foi variada desde 130 °C a 165 °C. Os resultados obtidos para o grau de brancura CIE e Berger encontram-se na Figura 27 e os dados utilizados para a construção desta Figura encontram-se no Anexo C.

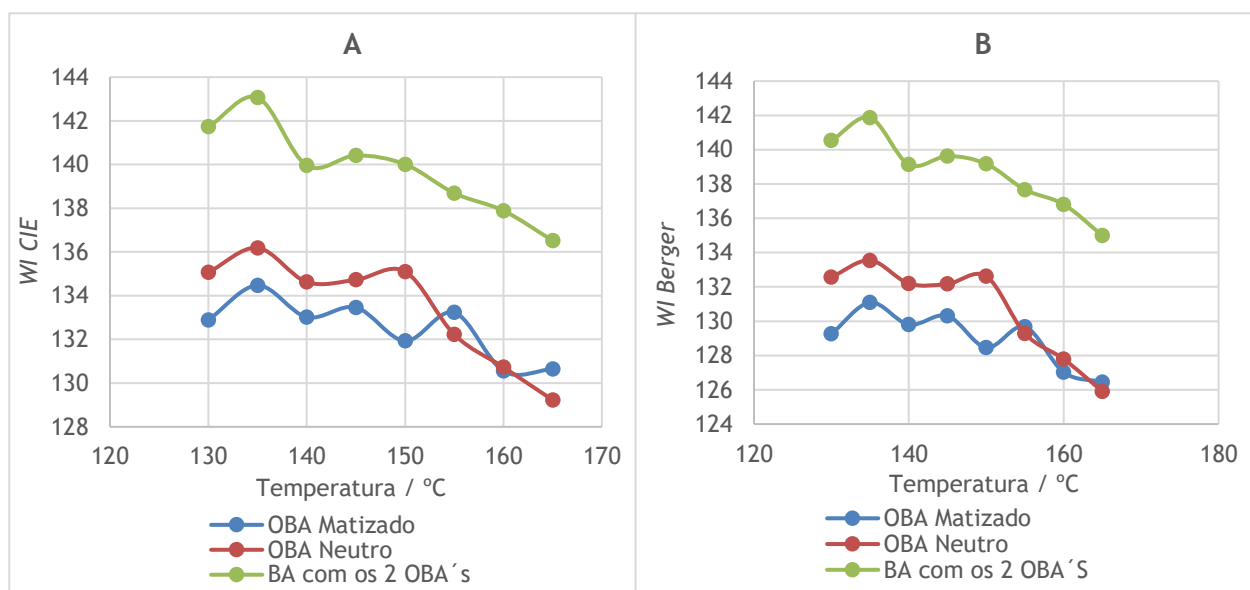


Figura 27 - Influência da temperatura de secagem no grau de brancura CIE e Berger.

Como se pode verificar pela Figura 27 o grau de brancura é máximo para uma temperatura de 135 °C, tanto para os testes efetuados com os OBA's individualmente como para o teste com o banho de acabamento estudado. A partir dos 155 °C o grau de brancura tem um decréscimo cada vez mais significativo. Para se avaliar as amostras em termos de tonalidade avaliou-se de que maneira as coordenadas de cromaticidade, a^* e b^* , evoluíam com o aumento da temperatura, estando os resultados obtidos esquematizados na Figura 28.

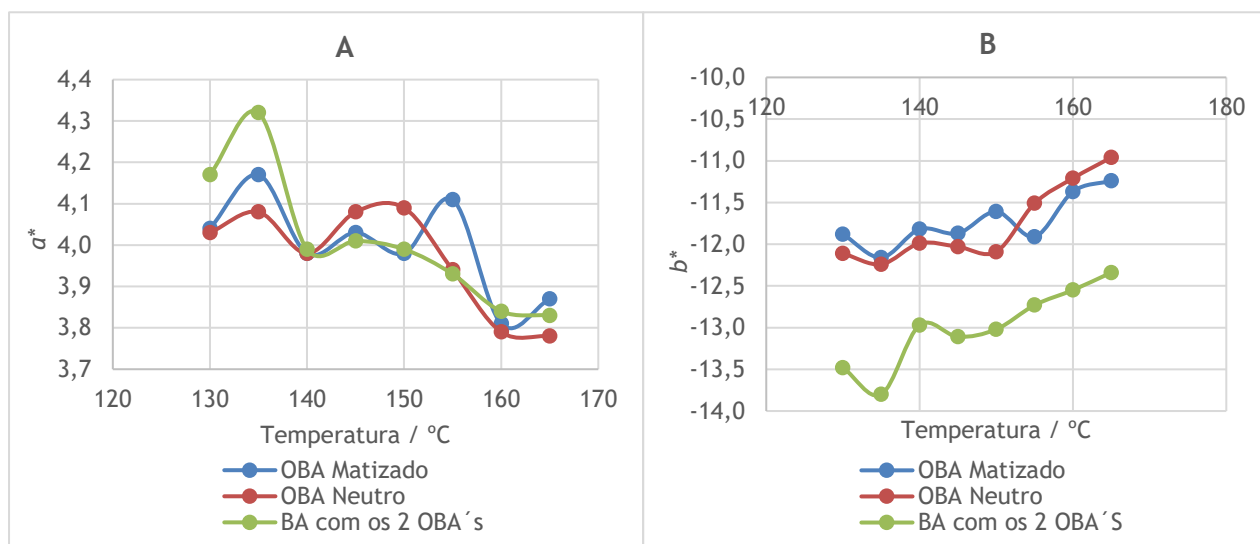


Figura 28 - Variação das coordenadas colorimétricas a^* (A) e b^* (B) com a temperatura de secagem.

Pela Figura 28 conclui-se que a partir dos 155 °C as amostras ficam mais verdes (valores de a^* mais pequenos) e amarelas (valores de b^* mais positivos). Por se tratar de um artigo fino a temperatura de secagem começa a ser demasiado excessiva levando a que as fibras de algodão se comecem a queimar. Os valores utilizados para a construção deste gráfico encontram-se no Anexo C.

Na Tabela 10 estão registados os valores de ΔE^* para as diferentes temperaturas de secagem utilizadas.

Tabela 10 - Diferenças totais de cor para as várias temperaturas de secagem.

Temperatura / °C	ΔE^*
165	0,79
160	0,58
155	0,41
150	0,17
145	0,15
140	0,21
135	0,81
130	0,47

Em comparação com a produção, verifica-se que a diferença total de cor entre o laboratório e a produção é menor se o tecido for seco em laboratório a uma temperatura entre 140 a 150 °C. Uma vez que atualmente, em laboratório, se seca 150 °C, seria vantajoso otimizar este valor para 140 °C pois levaria a uma diminuição dos gastos energéticos na *Mathis* de secagem, uma vez que em termos de grau de brancura não se verifica diferenças muito significativas neste intervalo de temperaturas. Por outro lado, em termos logísticos seria vantajoso manter a temperatura de secagem a 150 °C por ser compatível com a temperatura de secagem de outros processos de tingimento que ocorrem no laboratório.

4.2.5 Pressão do *Foulard*

Para avaliar a influência da pressão no grau de brancura e qual o valor ótimo de pressão para aproximar a amostra feita em laboratório com a amostra que advém da produção, fez-se variar a pressão de 2 a 4 bar. Os resultados encontram-se na Figura 29.

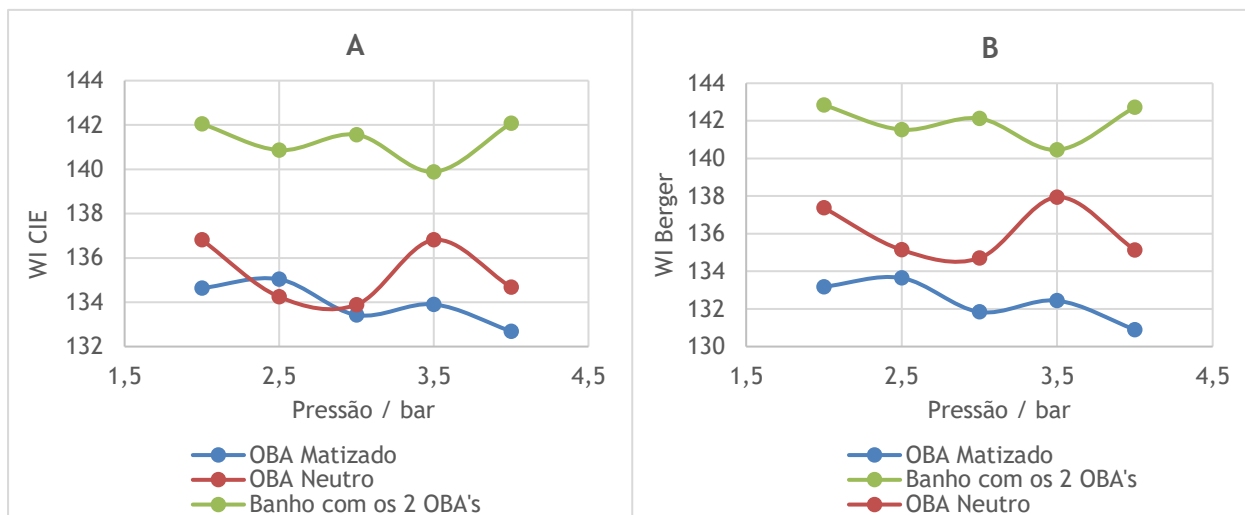


Figura 29 - Influência da pressão dos rolos do foulard no grau de brancura CIE (A) e Berger(B).

As respostas das 3 curvas diferem entre si, não sendo possível aferir de que maneira a pressão influencia o grau de brancura. Em termos de diferença total de cor, na Tabela 11, registam-se os valores para as diferentes pressões.

Tabela 11 - Diferenças totais de cor para as diferentes pressões dos rolos do foulard.

Pressão / bar	ΔE^*
2,0	0,11
2,5	0,25
3,0	0,16
3,5	0,50
4,0	0,26

Embora a diferença total de cor seja menor para uma pressão de 2 bar, este valor de pressão exercida pelos rolos do *foulard* não é suficiente para que o banho seja impregnado de uma forma correta no tecido. Assim, o melhor valor de ΔE^* regista-se para a pressão de 3 bar, que é a pressão atualmente praticada no laboratório para a aplicação dos banhos de acabamento.

Para se analisar estatisticamente se a variação destes parâmetros é significativa na diferença total de cor, calculou-se a variância associada a cada parâmetro, cujos valores estão presentes na Tabela 12.

A variância, σ^2 , é uma medida estatística de dispersão que nos indica a representatividade das várias variáveis, em que um maior valor de variância indica que esse parâmetro é mais significativo.

Tabela 12 - Variância associada a cada variável do processo produtivo.

Variável	σ^2
Exposição à luz	0,004
pH do banho	0,006
Tempo de secagem	0,132
Temperatura de secagem	0,070
Pressão dos rolos	0,020

Pela análise destes valores, conclui-se que as variâncias maiores pertencem à temperatura e ao tempo de secagem, indicando que estas variáveis são as mais significativas para o processo. Foi também possível otimizar estes parâmetros para 140 °C e 90 segundos, sendo necessária a sua validação futura em laboratório e na produção.

4.3 Validação das Condições Atuais - Tecidos PES/CO

Para validar as condições do processo atual foram recolhidos alguns tecidos atualmente em produção na empresa com diferentes misturas PES/CO e diferentes banhos de acabamento, de modo a abranger uma maior diversidade de situações. Para estes tecidos fez-se variar a temperatura e o tempo de termofixação com o intuito de verificar se as diferenças no grau de brancura e na diferença total de cor eram as menores para estas condições ($T_{termofixação} = 180$ °C; $t_{termofixação} = 20$ s).

A temperatura e o tempo de secagem dos tecidos foram mantidos sempre fixos (130 °C ; 60 s). Foram efetuados testes cujas composições dos tecidos e respetivos banhos de acabamento estão especificados na Tabela 13.

Tabela 13 - Descrição da composição dos tecidos e dos banhos de acabamento utilizados para a validação das novas condições.

Teste	Artigo	Banho de acabamento
1	52 % PES/48 % CO	1 branqueador ótico PES/CO + 2 corantes matizadores + produtos auxiliares
2	65 % PES/35 % CO	1 branqueador ótico PES/CO + 2 corantes matizadores + produtos auxiliares
3	65 % PES/35 % CO	1 branqueador ótico PES/CO + produtos auxiliares
4	65 % PES/35 % CO	2 branqueadores óticos PES/CO + 1 branqueador ótico 100 % CO + produtos auxiliares

Os valores do grau de brancura CIE em função do tempo e temperatura de termofixação, para os 4 testes, estão representados nos gráficos da Figura 30.

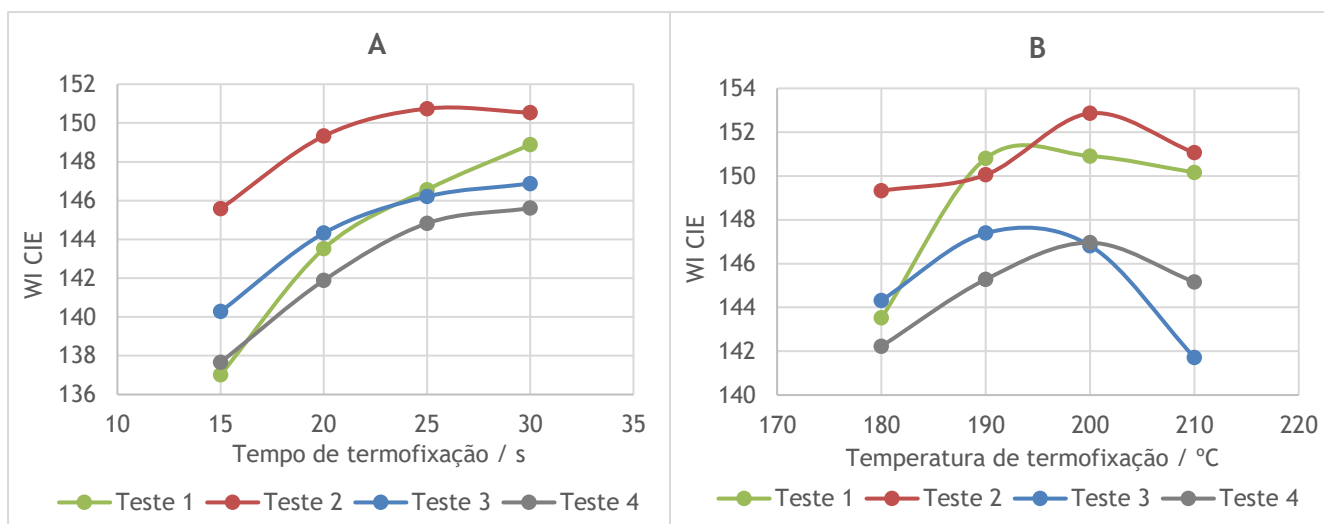


Figura 30 - Variação do grau de brancura CIE com a temperatura (A) e o tempo de termofixação (B).

Por análise da Figura 30, verifica-se um aumento do grau de brancura com o tempo de termofixação e uma diminuição do grau de brancura a partir dos 190 °C e dos 200 °C para o Teste 1 e 3 e para o Teste 2 e 4, respetivamente. Esta descida do grau de brancura aquando do aumento da temperatura advém de se tratar de uma temperatura demasiado alta, o que provoca o amarelecimento do tecido. Uma vez que o objetivo é comparar as amostras com a produção, analisou-se os valores de ΔE^* lidos no espectrofotómetro presentes na Tabela 14. Os valores referentes a Δa^* , a Δb^* e a ΔC^* estão registados no Anexo C.

Tabela 14 - Diferença total de cor associada a cada teste.

		Teste 1	Teste 2	Teste 3	Teste 4
Temperatura / °C	Tempo / s	$\Delta E^* (\bar{x} \pm \sigma)$			
180	15	2,01 ± 0,00	0,83 ± 0,02	1,25 ± 0,08	1,60 ± 0,09
180	20	0,51 ± 0,01	0,28 ± 0,01	0,24 ± 0,04	0,62 ± 0,04
180	25	0,54 ± 0,05	0,53 ± 0,03	0,31 ± 0,05	0,66 ± 0,06
180	30	1,09 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,51 ± 0,01	0,92 ± 0,03
190	20	1,55 ± 0,02	0,44 ± 0,01	0,69 ± 0,06	0,77 ± 0,04
200	20	1,69 ± 0,01	1,11 ± 0,02	0,81 ± 0,02	0,75 ± 0,03
210	20	1,64 ± 0,01	0,81 ± 0,02	0,89 ± 0,01	1,11 ± 0,03

Pela análise da Tabela 14 verifica-se que a diferença total de cor entre os testes laboratoriais e o tecido proveniente da produção é menor para uma temperatura de termofixação de 180 °C e para um tempo de termofixação de 20 segundos. Para compreender melhor a variação do ΔE^* com estes parâmetros fez-se um gráfico de contorno com o auxílio do programa MiniTab para cada teste. Estes gráficos estão presentes na Figura 31.

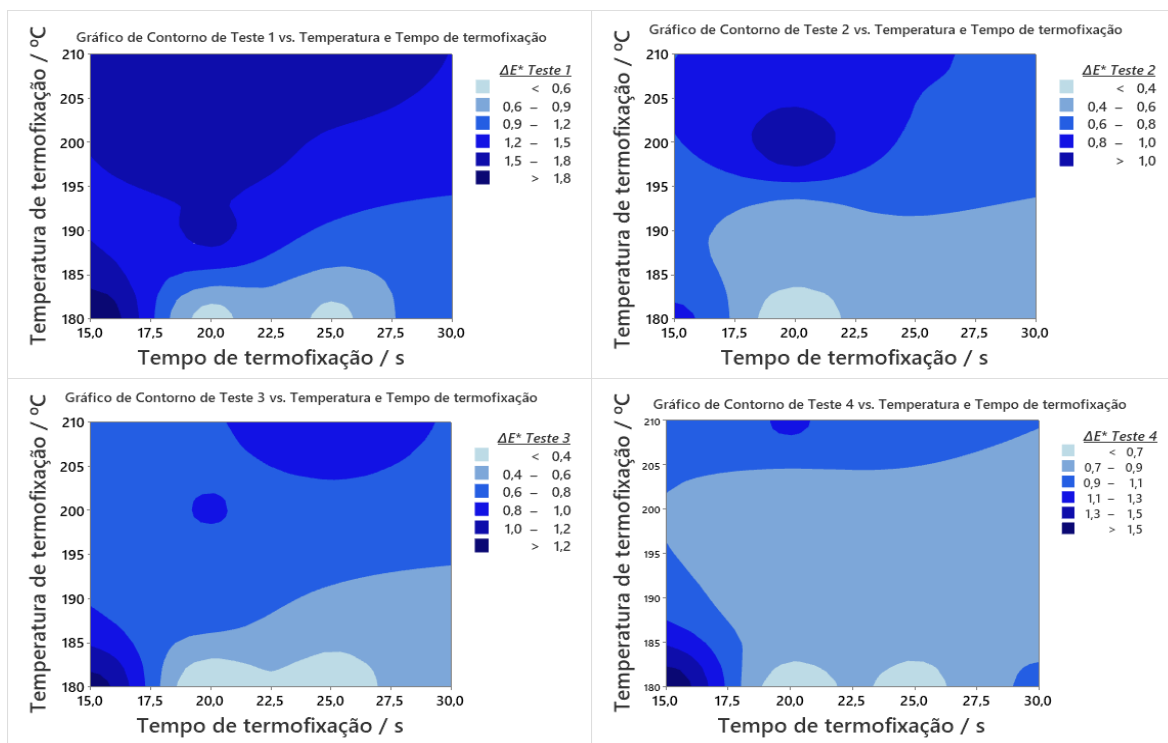


Figura 31 - Gráficos de contorno para a interação das variáveis temperatura e tempo de termofixação para os 4 testes.

Por observação da Figura 31, conclui-se que as diferenças totais de cor são inferiores para um tempo de termofixação de 20 a 25 segundos e para uma temperatura de termofixação de 180 °C (zonas azuis mais claras).

Para um tempo demasiado baixo as diferenças de cor são muito altas por não haver tempo suficiente de o branqueador fixar à fibra, não sendo assim viável (zonas azuis muito escuras). Para temperaturas demasiado altas as diferenças de cor também aumentam por provocarem um amarelecimento (aumento do Δb^*).

Verifica-se que, a temperatura e tempo de termofixação utilizadas atualmente são as conduzem a uma maior reprodutibilidade laboratório/produção.

5 Balanço Económico

Como referido anteriormente, o objetivo do trabalho foi alterado e, para além da validação do novo processo aplicado pela empresa aos tecidos de poliéster e algodão, foi possível efetuar um balanço económico.

Para tal, analisaram-se os custos associados a cada etapa, do circuito produtivo antigo e do atual. Os custos dividem-se em 5 categorias: os custos associados às receitas de branqueamento e de acabamento; custos diretos que compreendem a mão-de-obra direta, amortizações, indemnizações e ainda outras despesas; custo associado ao combustível e à água, que perfazem os custos associados a fluídos; custos energéticos e ainda custos indiretos, que englobam a mão-de-obra indireta (administrativos, comerciais) e matéria prima necessária ao embalamento do produto final. Estes custos indiretos estão apenas associados à secção de 2ª Revista.

Os gastos associados ao funcionamento da gaseadeira (máquina que queima as pontas livres das fibras na superfície do tecido), do enrolador e da sanfor (máquina utilizada para pré-encolher o tecido) e ainda associados à secção do fim da preparação, 1ª e 2ª Revista mantiveram-se nos dois circuitos. A 1ª e a 2ª Revista correspondem às secções da produção responsáveis pelo controlo de qualidade do produto. Verificam-se mudanças na LP5 (máquina de branqueamento) e na râmola uma vez que o circuito novo passa apenas uma vez pela máquina de branqueamento. Os custos associados a cada repartição estão detalhadamente descritos no Anexo D.

Na Tabela 15, estão detalhados os custos associados à LP5 e à râmola nos dois circuitos.

Tabela 15 - Diferença de custos associados à LP5 e à râmola nos dois circuitos.

Custos / Cêntimos·m ⁻¹	LP5 (Máquina de branqueamento)		Râmola	
	Antigo	Atual	Antigo	Atual
Receitas	6,41	2,71	10,3	9,73
Custos Diretos	3,10	1,55	2,97	2,46
Fluídos	3,16	1,58	3,58	2,57
Energia	0,62	0,31	1,31	1,08
Total	13,3	6,15	18,2	15,8

Por observação da Tabela 15, verifica-se uma redução de 53 % de custos associados à LP5 (máquina de branqueamento). Uma vez que o novo circuito compreende apenas um branqueamento, existe também, em termos de logística da fábrica, uma otimização, uma vez que o artigo no circuito antigo necessitava de voltar ao piso de preparação para branquear outra vez. Regista-se assim uma diminuição de 58 % de gastos em receitas, 50 % de custos diretos, 51 % de gastos associados aos fluídos (água e combustível) e ainda 53 % de investimento em energia, para o caso da LP5.

Com este novo circuito, totaliza-se uma diminuição de 13 % de custos associados à râmola. Em pormenor verifica-se uma diminuição de 5 % de despesas em receitas, 17 % em custos diretos, 28 % em fluídos e 15 % em energia.

No total, este novo circuito leva a uma redução de 30 % de custos, que, por metro de tecido, traduz a diminuição do preço de 64 cêntimos ($0,64 \text{ €}\cdot\text{m}^{-1}$) para 54 cêntimos ($0,54 \text{ €}\cdot\text{m}^{-1}$), sendo que a maior diminuição advém dos gastos associados aos fluídos, principalmente água.

Assim, conclui-se que se trata de um circuito mais sustentável para a empresa, tanto a nível ambiental como económico.

6 Conclusões

A necessidade do aumento da produção na área de *workwear* associada ao processo de utilização de branqueadores óticos, juntamente com a falta de reprodutibilidade entre o laboratório e a produção neste processo, justificou o interesse da realização deste projeto.

O principal objetivo deste projeto consistia em estudar e definir as condições que otimizam o processo de aplicação dos branqueadores óticos nos tecidos 100 % algodão e nos tecidos de poliéster e algodão.

Para a otimização laboratorial, em tecidos 100 % algodão, foi realizada uma análise de sensibilidade a dois branqueadores óticos diferentes e isolados e a um banho de acabamento, de modo a concluir que parâmetros tinham mais influência no grau de brancura e a diferença total de cor comparando com a produção. Esta avaliação permitiu concluir que os parâmetros que influenciam mais o processo de acabamento com branqueador ótico são a temperatura e o tempo de secagem, por serem as variáveis com uma maior significância estatística. O pH do banho de acabamento, a pressão do *foulard* e a exposição à luz, embora demonstrassem uma ligeira influência nos resultados, não foram consideradas significativas para o processo, pelo que estas variáveis se devem manter consoante o processo atual. Já a temperatura e o tempo de secagem, de modo a otimizar o processo, devem ser alterados para 140 °C e 90 segundos.

No entanto, por motivos da situação mundial de pandemia e redução de tempo na empresa, não foi possível validar estas condições otimizadas, pelo que é sugerido fazê-lo num trabalho futuro.

Pelo mesmo motivo, não foi possível fazer a análise de sensibilidade aos tecidos de poliéster e algodão, pelo que, em alternativa, fez-se uma validação do novo processo produtivo aplicado pela empresa durante este ano, de modo a averiguar se este era eficaz. Para abranger um diversidade de situações, foram escolhidos tecidos com diferentes constituições e banhos de acabamento e fez-se variar a temperatura e tempo de termofixação. Com este estudo, concluiu-se que as condições atualmente praticadas em laboratório e em produção reduzem as diferenças totais de cor entre as amostras laboratoriais e as amostras da produção.

Foi, também, realizado um balanço económico a este novo processo, no qual se concluiu que existe uma redução de 30 % de custos face ao processo que era utilizado posteriormente na empresa. As principais reduções verificam-se a nível de gastos de água, combustível e energia, fazendo com que este processo alie o preço à sustentabilidade.

7 Avaliação do Trabalho Realizado

7.1 Objetivos Realizados

Com este trabalho foi possível estudar o comportamento dos branqueadores óticos e ainda otimizar algumas das condições do processo de aplicação destes químicos aos tecidos 100 % algodão. Para os tecidos de poliéster e algodão foi possível validar as condições praticadas atualmente e verificar que eram eficientes.

7.2 Outros Trabalhos Realizados

Dada a inexperiência na área, foram realizados vários testes que não foram úteis para a obtenção de resultados para a dissertação, mas que forneceram a destreza necessária no que toca às práticas laboratoriais da indústria têxtil.

Devido à afluência de trabalho e à prioridade dos testes da empresa foi prestado auxílio aos trabalhadores em várias secções do laboratório enquanto não era possível realizar os ensaios. Assim, foram adquiridas várias competências além das inicialmente previstas pela realização da dissertação, tais como compreender a realização de uma receita de tinturaria e acabamento, medir o pH de tecidos e compreender o processo dos vários processos de tingimento e as diferenças entre os vários corantes.

7.3 Apreciação Final e Trabalho Futuro

A realização deste projeto em ambiente empresarial permitiu obter alguma experiência e conhecimento do modo de funcionamento de uma indústria têxtil, tratando-se de uma área que já me tinha suscitado interesse. Permitiu à empresa perceber que variáveis podem estar a afetar a reprodutibilidade laboratório/laboratório e laboratório/produção.

Como trabalho futuro seria de grande interesse avaliar estas condições para mais banhos de acabamento com branqueadores óticos e averiguar que outros fatores podem estar a afetar o processo, como por exemplo, a constituição do tecido em cru, absorção, interação com os outros químicos das receitas, entre outros.

Devido à crescente preocupação com o meio ambiente era importante avaliar a influência dos branqueadores óticos nas águas residuais da empresa e a maneira como são tratados juntamente com a libertação dos OBA's nas lavagens na máquina.

8 Referências

- [1] (DGAE) - Direção Geral das Atividades Económicas, *Indústria Têxtil e do Vestuário - Sinopse*, Lisboa, 2018, pp. 3-4.
- [2] ATP - Associação Têxtil e Vestuário de Portugal, *Fashion from Portugal 4.0 - Diretório ATP*, Vila Nova de Famalicão: Multitema, 2019, pp. 5-9.
- [3] KBV - Research Market Research & Consulting Company, “Global Optical Brighteners Market (2019-2025),” Índia, 2019.
- [4] “Carrington Textiles,” 2020. [Online]. Available: <https://www.carrington.co.uk/en/company/production/>. [Acedido em 5 Março 2020].
- [5] R. Sinclair, *Textile and Fashion: Materials, Design and Technology*, R. Sinclair, Ed., Cambridge, 2014, pp. 3-24:459-469.
- [6] S. Grishanov, “Structure and properties of textile materials,” em *Handbook of Textile and Industrial Dyeing - Volume 1: Principles, Processes and types of dyes*, 1ª ed., M. Clark, Ed., Reino Unido, 2011, pp. 29,30.
- [7] J. Koh, “Dyeing of cellulosic fibres,” em *Handbook of Textile and Industrial Dyeing - Volume 2: Applications of dyes*, 1ª ed., M. Clark, Ed., África do Sul, 2011, pp. 129-133.
- [8] C. Tavares, F. Silva, A. Correia, T. Pereira, L. Ferreira e F. Almeida, “Study On The Optimization Of The Textile Coloristic Performance Of The Bleaching Process Using Pad-Steam,” em *28th International Conference on Flexible Automation an Intelligent Manufacturing*, Estados Unidos, 2018.
- [9] CENIT - Centro de Inteligência Têxtil , “Portugal Têxtil,” 12 Novembro 2018. [Online]. Available: <https://www.portugaltexil.com/as-vantagens-do-poliester-reciclado/>. [Acedido em 22 Abril 2020].
- [10] M. J. Garfejo, “Estudo da Reprodutibilidade Laboratorial no Processo de Tingimento Têxtil,” Porto, 2016.
- [11] W. Sondhelm e K. Gandhi, “Technical fabric structures - 1. Woven fabrics,” em *Handbook of Technical Textiles*, 2ª ed., vol. 1, A. Horrocks e S. C. Anand, Edits., Reino Unido, 2016, pp. 63-67.
- [12] AEP - Associação Empresarial de Portugal, *Manual de Produção + Limpa da Indústria Têxtil*, 2011, pp. 21-23.

- [13] Riopele, “Riopele,” 2020. [Online]. Available: <https://www.riopele.pt/acabamentos>. [Acedido em 15 Abril 2020].
- [14] C. Ferreira e J. Costa, “Introdução ao processo de fabrico - Acabamentos têxteis (MGC) (Documento interno),” Ronfe, 2018.
- [15] R. Conway, “Technical Textile Finishing,” em *Handbook of Technical Textiles*, 2ª ed., vol. 1, A. R. Horrocks e S. C. Anand, Edits., Manchester, 2016, pp. 189-207.
- [16] A. Choudhury, “Introduction to finishing,” em *Principles of Textile Finishing*, 1ª ed., Reino Unido, Woodhead Publishing, 2017, pp. 2-15.
- [17] A. D. Broadbent, *Basic Principles of Textile Coloration*, Canadá, 2001, pp. 85,86,427-450.
- [18] V. Salem, *Tingimento Têxtil: Fibras, Conceitos e Tecnologias*, São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2010, pp. 15-28.
- [19] M. Esteves, A. Noronha e R. Marques, “Optical Brighteners Effect On White And Coloured Textiles,” em *World Textile Conference - 4th Autex Conference*, Roubaix, 2004.
- [20] J. Morgado, V. Paiva, M. J. Machado e H. Oliveira, *Manual Técnico do Formando - Tratamento Prévio*, Vila Nova de Famalicão: CITEVE, 2008.
- [21] A. Tiki, A. Amin e A. Kanwal, “Chemistry of optical brighteners and uses in textile industries,” *Pakistan Textile Journal*, pp. 42-43, Julho 2010.
- [22] L. W. de Paula, “Em busca do branco puro,” *Revista Química Têxtil*, Junho 2011.
- [23] H. Salas, C. Gutiérrez-Bouzán, V. López-Grimany e M. Vilaseca, “Respirometric Study of Optical Brighteners in Textile Wastewater,” *Materials* 2019, nº 12, 2019.
- [24] L. Bueno, C. Amador e S. Bakalis, “Modeling the Deposition of Fluorescent Whitening Agents on Cotton Fabrics,” *AIChE Journal*, vol. 64, nº 4, pp. 1-2, Abril 2018.
- [25] The Danish Environmental Protection Agency, “Substitution of Optical Brightener Agents in Industrial Textiles,” Ministry of Environment and Food of Denmark, 2018.
- [26] A. Saeed, G. Shabir e I. Batool, “Novel Stilbene-triazine Symmetrical Optical Brighteners: Synthesis and Applications,” *Journal of Fluorescence*, nº 24(4), pp. 1123-1124, Maio 2014.
- [27] J. Lin, “Factors Affecting the Perception and Measurement of Optically Brightened White Textiles,” Carolina do Norte, 2013.

Anexo A - Descrição Técnica dos Branqueadores Óticos Utilizados

Por questões de confidencialidade os fornecedores dos OBA's apenas fornecem a molécula da qual estes derivam e não a composição detalhada. Nas Tabelas A1 a A4 estão descritas as características químicas dos 4 branqueadores óticos utilizados.

Tabela A1 - Informação do branqueador matizado utilizado nos testes 100 % CO.

Nome	White CCB-V
Fornecedor	Grupo ADI
Composição química	Derivado de estilbeno
Forma física	Líquido violeta
Tonalidade que fornece	Violeta avermelhado
pH do branqueador	8,00-10,0
ρ / g·cm⁻³ (a 20 °C)	1,10
Carácter iónico	Aniónico
Influência da luz	As soluções de trabalho devem ser protegidas contra a luz.
Compatibilidade	Muito compatível com pré-compostos de resina, agentes de preenchimento, amaciadores aniónicos e não-iónicos, molhantes aniónicos e não iónicos e compatibilidade limitada com amaciadores catiónicos.

Tabela A2 - Informação do branqueador neutro utilizado nos testes 100 % CO.

Nome	BMR Liquid
Fornecedor	Huntsman
Composição química	Derivado do Ácido 4,4'- diaminoestilbeno-2,2'-dissulfónico
Forma física	Líquido amarelo
Tonalidade que fornece	Violeta avermelhado
Estabilidade do pH	3,5-12
ρ / g·cm⁻³ (a 25 °C)	1,2
Carácter iónico	Aniónico
Influência da luz	As soluções de trabalho devem ser protegidas contra a luz.

Tabela A3 - Informação do branqueador ótico verde utilizado nos testes PES/CO.

Nome	PET B
Fornecedor	Tanatex Chemicals
Composição química	Derivado do diestirilbenzeno
Forma física	Líquido verde acinzentado
Tonalidade que fornece	Violeta azulado
Estabilidade do pH	2,0-12
ρ / g.cm⁻³ (a 20 °C)	1,06-1,12
Carácter iónico	Não-iónico
Influência da luz	Dispersões não devem ser expostas à luz.

Tabela A4 - Informação do branqueador ótico utilizado nos testes PES/CO.

Nome	PET R
Fornecedor	Tanatex Chemicals
Composição química	Derivado do diestirilbenzeno
Forma física	Líquido esverdeado
Tonalidade que fornece	Violeta avermelhado
Estabilidade do pH	2,0-12
ρ / g.cm⁻³ (a 20 °C)	1,1
Carácter iónico	Não-iónico
Influência da luz	Dispersões não devem ser expostas à luz.

Anexo B - Compostos Químicos Utilizados

Os produtos químicos utilizados no laboratório, na elaboração dos banhos de acabamento, encontram-se apresentados na Tabela B1 com os respectivos fornecedores, funções e advertências de perigo.

Tabela B1 - Compostos químicos auxiliares utilizados.

Nome do Produto	Fornecedor	Função	Advertências de perigo*
Softine Ni	Quiterma	Amaciador	H319 H315
Quimatex Pe-9	Aquitex - Acabamentos Químicos Têxteis, S.A.	Amaciador	H318
Aquacid 450	Aquitex - Acabamentos Químicos Têxteis, S.A.	Solução tampão para tratamentos a pH 4,5	H314
Erkantol NR	Tanatex	Molhante/Desaerante	-
Permafix NF Conc	ADI	Fornecer acabamento resinoso	-
Cloreto de Magnésio	RNM	Catalisador	-
Edolan AB	Tanatex	Ligante/Revestimento	-
Avolan IW-E Liquid	Tanatex	Agente dispersante	-
Emulsifier WN	Tanatex	Agente dispersante	-
Fixapret NES Liq	Archroma	Fornecer acabamento resinoso	H350
Kemic Soft Ni	Kemic	Amaciador	-
Orgal Na 366 Pa	Organik Kimya	Ligante/Revestimento de têxteis	-
NoFome AF	Tanatex	Desaerante	-
Violeta Dianix S-4R	DyStar	Corante matizador	H319
Azul Teregal FG-SD	Focor	Corante matizador	-

*H314 - Provoca queimaduras na pele e lesões oculares graves; H315 - Provoca irritação cutânea; H318 - Provoca lesões oculares graves; H319 - Provoca irritação ocular grave; H350 - Pode provocar cancro

Anexo C - Resultados Obtidos nas Análises Realizadas no Espectrofotómetro

C.1 - Evolução do Grau de Brancura com a Concentração

Os dados recolhidos no espectrofotómetro da MGC-AT para as amostras com diferentes concentrações de branqueador ótico estão representados na Tabela C1 (no caso dos OBA's para tecidos 100 % CO) e na Tabela C2 (no caso dos OBA's para tecidos PES/CO). Todas as amostras foram lidas 3 vezes, para as quais se efetuou uma média com o respetivo desvio padrão associado.

Tabela C1 - Resultados obtidos nos valores de grau de brancura em função da concentração de OBA para os dois branqueadores óticos para tecidos 100 % CO estudados

Concentração OBA / g·L ⁻¹	OBA Matizado		OBA Neutro	
	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
0,5	91,16 ± 0,03	89,74 ± 0,03	97,67 ± 0,07	95,72 ± 0,05
1,0	95,43 ± 0,05	94,03 ± 0,04	105,31 ± 0,01	103,62 ± 0,02
2,0	104,67 ± 0,04	102,79 ± 0,04	112,27 ± 0,02	110,65 ± 0,02
3,0	105,54 ± 0,02	104,00 ± 0,03	113,59 ± 0,05	112,22 ± 0,05
4,0	109,59 ± 0,03	107,87 ± 0,03	115,24 ± 0,02	114,11 ± 0,03
5,0	111,55 ± 0,02	110,23 ± 0,03	117,42 ± 0,03	117,06 ± 0,04
6,0	113,96 ± 0,01	112,70 ± 0,59	117,30 ± 0,03	117,12 ± 0,03
7,0	115,72 ± 0,05	114,74 ± 0,05	117,34 ± 0,07	117,60 ± 0,07
8,0	117,47 ± 0,02	116,16 ± 0,03	117,45 ± 0,02	117,34 ± 0,03
9,0	116,28 ± 0,02	115,28 ± 0,02	117,53 ± 0,03	118,58 ± 0,04
10,0	117,39 ± 0,04	115,65 ± 0,02	117,64 ± 0,02	117,95 ± 0,03
11,0	116,77 ± 0,03	116,56 ± 0,05	117,01 ± 0,06	117,96 ± 0,06
13,0	117,57 ± 0,06	116,90 ± 0,05	116,69 ± 0,05	117,93 ± 0,06
15,0	117,44 ± 0,06	116,62 ± 0,06	115,10 ± 0,05	116,48 ± 0,06

Tabela C2 - Resultados obtidos nos valores de grau de brancura em função da concentração de OBA para os dois branqueadores óticos para tecidos PES/CO estudados.

Concentração OBA / g·L ⁻¹	OBA B		OBA R	
	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
0,5	117,79 ± 0,05	117,08 ± 0,06	111,71 ± 0,08	110,62 ± 0,09
1,0	124,76 ± 0,04	124,98 ± 0,04	119,65 ± 0,06	119,17 ± 0,06
2,0	130,19 ± 0,04	130,93 ± 0,05	130,17 ± 0,05	130,60 ± 0,07
3,0	133,03 ± 0,03	134,39 ± 0,02	133,13 ± 0,02	133,96 ± 0,04
4,0	135,35 ± 0,04	136,95 ± 0,05	134,96 ± 0,03	135,90 ± 0,01
5,0	137,37 ± 0,02	139,49 ± 0,03	136,77 ± 0,14	137,82 ± 0,10
6,0	138,72 ± 0,06	140,76 ± 0,08	137,59 ± 0,35	138,87 ± 0,32
7,0	139,00 ± 0,02	141,30 ± 0,03	139,94 ± 0,46	141,21 ± 0,54
8,0	141,39 ± 0,04	143,58 ± 0,05	139,86 ± 0,27	140,78 ± 0,31
9,0	141,78 ± 0,03	144,17 ± 0,03	141,08 ± 0,21	142,02 ± 0,79
10,0	143,46 ± 0,06	145,70 ± 0,05	140,85 ± 0,35	141,42 ± 0,58
11,0	141,45 ± 0,04	144,03 ± 0,06	140,51 ± 0,42	141,19 ± 0,44
13,0	142,25 ± 0,05	144,50 ± 0,06	140,33 ± 0,18	141,37 ± 0,18
15,0	141,55 ± 0,01	143,80 ± 0,02	138,73 ± 0,53	139,53 ± 0,52

C.2 - Análise de Sensibilidade - Tecidos 100 % CO

Os valores obtidos relativamente ao grau de brancura e às coordenadas para as diferentes amostras face às alterações das variáveis de projeto foram registados nas Tabelas C3 a C12.

Tabela C3 - Valores obtidos do grau de brancura CIE e Berger obtidos no espectrofotómetro para diferentes tempos de exposição à luz.

Tempo de exposição / horas	OBA Matizado		OBA Neutro		Banho de Acabamento com os 2 OBA'S	
	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
0	132,85 ± 0,03	129,63 ± 0,04	134,79 ± 0,14	133,57 ± 0,23	139,45 ± 0,04	137,69 ± 0,04
3	131,35 ± 0,05	128,02 ± 0,06	132,90 ± 0,04	131,71 ± 0,04	139,09 ± 0,03	137,69 ± 0,04
6	130,64 ± 0,08	126,91 ± 0,07	128,34 ± 0,04	125,68 ± 0,04	138,67 ± 0,09	137,28 ± 0,10

Tabela C4 - Coordenadas colorimétricas das amostras para os tempos de exposição

Tempo de exposição / horas	OBA Matizado					OBA Neutro					Banho de Acabamento com os 2 OBA'S				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
0	90,91	4,02	-11,75	12,42	288,88	91,85	3,72	-11,85	12,41	287,42	91,10	3,98	-13,12	13,72	286,89
3	90,85	3,92	-11,43	12,08	288,91	91,76	3,43	-11,42	11,92	286,71	91,30	3,88	-12,95	13,52	286,67
6	90,61	3,93	-11,38	12,04	289,05	91,43	3,63	-10,57	11,18	288,93	91,37	3,80	-12,83	13,41	286,83

Tabela C5 - Valores obtidos do grau de brancura CIE e Berger obtidos no espectrofotômetro para diferentes pH dos banhos

OBA Matizado			OBA Neutro			Banho de acabamento com os 2 OBA's		
pH	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	pH	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	pH	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
7,4	130,36 ± 0,04	127,66 ± 0,04	8,5	133,40 ± 0,08	133,00 ± 0,09	7,1	139,16 ± 0,01	137,80 ± 0,03
4,9	131,68 ± 0,02	129,02 ± 0,02	5,5	133,19 ± 0,10	132,61 ± 0,09	5,6	138,82 ± 0,03	137,20 ± 0,02
4,8	132,51 ± 0,10	129,99 ± 0,11	5,3	133,95 ± 0,03	133,39 ± 0,03	5,5	139,20 ± 0,07	137,39 ± 0,08
4,7	130,79 ± 0,07	127,71 ± 0,06	5,2	133,31 ± 0,04	132,52 ± 0,04	5,4	138,92 ± 0,07	137,32 ± 0,07
4,3	131,58 ± 0,06	128,77 ± 0,03	5,1	134,02 ± 0,05	133,44 ± 0,06	5,1	139,29 ± 0,06	137,37 ± 0,05
4,2	131,72 ± 0,04	129,05 ± 0,05	5,0	133,81 ± 0,01	133,21 ± 0,01	4,8	138,68 ± 0,07	137,06 ± 0,12
4,1	132,04 ± 0,03	129,47 ± 0,14	4,9	133,46 ± 0,08	132,82 ± 0,08	4,6	140,56 ± 0,05	138,71 ± 0,07
4,0	132,58 ± 0,04	130,10 ± 0,02	4,7	132,95 ± 0,04	132,20 ± 0,01	4,5	139,24 ± 0,05	137,41 ± 0,06
			4,6	133,77 ± 0,05	133,16 ± 0,04	4,4	139,72 ± 0,04	138,28 ± 0,04
			4,5	133,55 ± 0,08	132,94 ± 0,07	4,3	139,59 ± 0,02	138,07 ± 0,04
			4,4	133,49 ± 0,06	132,85 ± 0,06			

Tabela C6 - Coordenadas colorimétricas das amostras para os pH dos banhos.

pH	OBA Matizado					OBA Neutro					Banho de acabamento com os 2 OBA's						
	L*	a*	b*	C*	h°	pH	L*	a*	b*	C*	h°	pH	L*	a*	b*	C*	h°
7,4	91,28	3,75	-11,06	11,68	288,72	8,5	92,21	3,33	-11,38	11,86	286,33	7,1	91,29	3,87	-12,98	13,54	286,58
4,9	91,28	3,83	-11,35	11,98	288,66	5,5	92,19	3,40	-11,34	11,84	286,68	5,6	91,10	3,84	-12,98	13,54	286,47
4,8	91,57	3,80	-11,22	11,85	288,72	5,3	92,21	3,47	-11,49	12,0	286,79	5,5	90,98	3,89	-13,12	13,69	286,52
4,7	91,00	3,79	-11,09	11,80	288,70	5,2	92,06	3,44	-11,40	11,91	286,80	5,4	91,17	3,89	-12,99	13,56	286,68
4,3	91,32	3,87	-11,29	11,92	288,68	5,1	92,21	3,49	-11,49	12,01	286,90	5,1	91,00	3,99	-13,13	13,72	286,90
4,2	91,40	3,85	-11,39	11,99	288,69	5,0	92,20	3,47	-11,48	11,99	286,68	4,8	91,08	3,82	-12,96	13,52	286,41
4,1	91,89	3,99	-11,60	12,03	288,61	4,9	92,19	3,45	-11,41	11,95	286,78	4,6	91,30	4,07	-13,29	13,90	286,99
4,0	92,02	4,03	-11,83	12,47	288,59	4,7	92,00	3,32	-11,29	11,81	286,19	4,5	90,99	3,88	-13,11	13,67	286,46
						4,6	92,17	3,46	-11,45	11,98	286,67	4,4	91,09	3,83	-13,09	13,59	286,45
						4,5	92,19	3,41	-11,41	11,88	286,69	4,3	91,10	3,82	-13,03	13,50	286,50
						4,4	92,19	3,40	-11,42	11,87	286,79						

Tabela C7 - Valores obtidos do grau de brancura CIE e Berger obtidos no espectrofotômetro para diferentes tempos de secagem.

Tempo de secagem / s	OBA Matizado		OBA Neutro		Banho de Acabamento com os 2 OBA'S	
	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
60	132,85 \pm 0,03	129,63 \pm 0,04	136,58 \pm 0,01	137,01 \pm 0,01	138,46 \pm 0,05	136,89 \pm 0,06
90	131,70 \pm 0,09	128,36 \pm 0,08	134,78 \pm 0,02	133,79 \pm 0,02	138,74 \pm 0,01	137,42 \pm 0,04
120	130,42 \pm 0,01	126,93 \pm 0,01	134,79 \pm 0,14	133,47 \pm 0,23	138,32 \pm 0,03	137,24 \pm 0,05
180	130,27 \pm 0,01	126,47 \pm 0,01	132,12 \pm 0,03	131,05 \pm 0,03	136,92 \pm 0,04	136,50 \pm 0,28

Tabela C8 - Coordenadas colorimétricas das amostras para os diferentes tempos de secagem

Tempo de secagem / s	OBA Matizado					OBA Neutro					Banho de Acabamento com os 2 OBA'S				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
60	90,91	4,02	-11,75	12,42	288,88	91,85	3,72	-11,85	12,41	287,42	91,27	3,89	-12,84	13,41	286,85
90	90,85	3,94	-11,49	12,15	288,92	92,71	3,52	-11,87	12,38	286,52	91,34	3,82	-12,87	13,43	286,53
120	90,79	3,88	-11,26	11,91	289,02	92,60	3,47	-11,51	12,02	286,77	91,46	3,74	-12,73	13,27	286,35
180	90,54	3,89	-11,32	11,97	288,96	91,91	3,38	-11,20	11,70	286,77	91,91	3,63	-12,24	12,77	286,53

Tabela C9 - Valores obtidos do grau de brancura CIE e Berger obtidos no espectrofotômetro para diferentes temperaturas de secagem

Temperatura / °C	OBA Matizado		OBA Neutro		Banho de Acabamento com os 2 OBA'S	
	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
165	130,64 ± 0,04	126,45 ± 0,04	129,23 ± 0,05	125,90 ± 0,06	136,52 ± 0,09	134,99 ± 0,06
160	130,55 ± 0,06	127,02 ± 0,05	130,73 ± 0,02	127,79 ± 0,03	137,89 ± 0,02	136,81 ± 0,03
155	133,23 ± 0,02	129,67 ± 0,04	132,22 ± 0,07	129,28 ± 0,07	138,69 ± 0,03	137,67 ± 0,07
150	131,93 ± 0,04	128,46 ± 0,04	135,10 ± 0,03	132,62 ± 0,03	140,01 ± 0,06	139,17 ± 0,03
145	133,46 ± 0,05	130,31 ± 0,04	134,73 ± 0,05	132,17 ± 0,05	140,42 ± 0,06	139,63 ± 0,05
140	133,02 ± 0,05	129,80 ± 0,05	134,63 ± 0,03	132,20 ± 0,02	139,96 ± 0,03	139,13 ± 0,02
135	134,47 ± 0,01	131,09 ± 0,01	136,19 ± 0,55	133,55 ± 0,04	143,06 ± 0,05	141,86 ± 0,04
130	132,89 ± 0,04	129,26 ± 0,04	135,07 ± 0,04	132,57 ± 0,03	141,73 ± 0,03	140,54 ± 0,03

Tabela C10 - Coordenadas colorimétricas das amostras para as diferentes temperaturas de secagem.

Temperatura / °C	OBA Matizado					OBA Neutro					Banho de Acabamento com os 2 OBA'S				
	L*	a*	b*	C*	h°	L*	a*	b*	C*	h°	L*	a*	b*	C*	h°
165	90,99	3,87	-11,24	11,89	289,02	90,93	3,78	-10,96	11,59	289,03	91,5	3,83	-12,34	12,92	287,23
160	90,60	3,81	-11,37	11,99	288,54	91,11	3,79	-11,21	11,83	288,69	91,69	3,84	-12,55	13,13	287,03
155	90,72	4,11	-11,91	12,60	289,06	91,13	3,94	-11,51	12,17	288,90	91,71	3,93	-12,73	13,32	287,14
150	90,74	3,98	-11,61	12,28	288,94	91,32	4,09	-12,09	12,76	288,69	91,74	3,99	-13,02	13,62	287,05
145	90,91	4,03	-11,87	12,53	288,75	91,28	4,08	-12,03	12,70	288,72	91,74	4,01	-13,11	13,71	286,99
140	90,82	3,98	-11,82	12,47	288,63	91,27	3,98	-11,99	12,64	288,35	91,77	3,99	-12,97	13,57	287,09
135	90,77	4,17	-12,16	12,85	288,94	91,35	4,08	-12,24	12,90	288,45	91,45	4,32	-13,8	14,46	287,38
130	90,59	4,04	-11,88	12,54	288,80	91,23	4,03	-12,11	12,76	288,41	91,5	3,83	-12,34	12,92	287,23

Tabela C11 - Valores obtidos do grau de brancura CIE e Berger lidos no espectrofotômetro para diferentes pressões

Pressão / bar	OBA Matizado		OBA Neutro		Banho de Acabamento com os 2 OBA'S	
	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
2,0	134,64 ± 0,04	133,18 ± 0,04	136,81 ± 0,19	137,37 ± 0,31	142,05 ± 0,03	142,84 ± 0,02
2,5	135,04 ± 0,12	133,65 ± 0,15	134,24 ± 0,01	135,14 ± 0,01	140,86 ± 0,01	141,53 ± 0,02
3,0	133,42 ± 0,02	131,84 ± 0,04	133,89 ± 0,01	134,70 ± 0,02	141,56 ± 0,09	142,13 ± 0,09
3,5	133,90 ± 0,02	132,44 ± 0,02	136,81 ± 0,04	137,94 ± 0,03	139,89 ± 0,03	140,16 ± 0,03
4,0	132,69 ± 0,06	130,90 ± 0,04	134,68 ± 0,06	135,14 ± 0,05	142,08 ± 0,05	142,73 ± 0,06

Tabela C12 - Coordenadas colorimétricas das amostras para as diferentes pressões.

Pressão / bar	OBA Matizado					OBA Neutro					Banho de Acabamento com os 2 OBA'S				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	L^*	a^*	b^*	C^*	h°	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
2,0	91,04	3,92	-11,71	12,35	288,52	91,93	3,65	-11,79	12,34	287,19	91,51	3,85	-13,16	13,71	286,32
2,5	91,10	3,96	-11,74	12,39	288,64	92,23	3,27	-11,14	11,61	286,38	91,49	3,77	-12,91	13,45	286,27
3,0	91,01	3,84	-11,46	12,08	288,55	92,16	3,24	-11,09	11,55	286,29	91,53	3,94	-13,07	13,65	286,79
3,5	91,05	3,85	-11,54	12,17	288,46	92,34	3,51	-11,67	12,19	286,73	91,53	3,73	-12,67	13,21	286,39
4,0	90,93	3,82	-11,31	11,94	288,65	92,02	3,46	-11,34	11,85	286,96	91,61	4,01	-13,14	13,74	286,97

C.3 - Validação das Condições Atuais - Tecidos PES/CO

Nas Tabelas C13, C15, C17 e C19 estão apresentados os valores médios do grau de brancura CIE e Berger para o 4 Testes. Nas Tabela C14, C16, C18 e C20 estão presentes os valores de Δa^* e Δb^* que permitem compreender se uma amostra se apresenta mais vermelha/verde ou amarela/azul em relação ao padrão e ainda, a diferença total de cor, ΔE^* .

Tabela C13 - Valores do grau de brancura CIE e Berger para as diferentes temperaturas e tempos de termofixação para o Teste 1.

Ensaio	$T_{termofixação} / ^\circ\text{C}$	$t_{termofixação} / \text{s}$	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
1	180	15	137,02 \pm 0,01	132,08 \pm 0,03
2	180	20	143,52 \pm 0,03	137,99 \pm 0,04
3	180	25	146,56 \pm 0,18	140,62 \pm 0,38
4	180	30	148,88 \pm 0,07	142,63 \pm 0,06
5	190	20	150,80 \pm 0,09	144,44 \pm 0,11
6	200	20	150,91 \pm 0,02	144,23 \pm 0,04
7	210	20	150,16 \pm 0,08	143,21 \pm 0,09
Produção			145,94 \pm 0,05	141,03 \pm 0,04

Tabela C14 - Valores das coordenadas colorimétricas e diferença total de cor para os ensaios do Teste 1.

Ensaio	$\Delta a^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta b^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta L^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta E^* (\bar{x} \pm \sigma)$
1	-0,68 \pm 0,01	1,89 \pm 0,01	-0,07 \pm 0,00	2,01 \pm 0,00
2	0,11 \pm 0,01	0,49 \pm 0,01	-0,08 \pm 0,00	0,51 \pm 0,01
3	0,45 \pm 0,06	-0,21 \pm 0,03	-0,20 \pm 0,05	0,54 \pm 0,05
4	0,77 \pm 0,01	-0,73 \pm 0,02	-0,25 \pm 0,00	1,09 \pm 0,02
5	1,02 \pm 0,01	-1,14 \pm 0,02	-0,24 \pm 0,00	1,55 \pm 0,02
6	1,15 \pm 0,02	-1,19 \pm 0,01	-0,30 \pm 0,01	1,69 \pm 0,01
7	1,18 \pm 0,09	-1,13 \pm 0,02	-0,31 \pm 0,01	1,64 \pm 0,01

Tabela C15 - Valores do grau de brancura CIE e Berger para as diferentes temperaturas e tempos de termofixação para o Teste 2.

Ensaio	$T_{\text{termofixação}} / ^\circ\text{C}$	$t_{\text{termofixação}} / \text{s}$	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
1	180	15	145,58 \pm 0,08	141,73 \pm 0,54
2	180	20	149,33 \pm 0,09	145,64 \pm 0,08
3	180	25	150,74 \pm 0,12	147,15 \pm 0,13
4	180	30	150,53 \pm 0,06	146,65 \pm 0,61
5	190	20	150,05 \pm 0,05	146,24 \pm 0,04
6	200	20	152,86 \pm 0,09	148,83 \pm 0,17
7	210	20	151,06 \pm 0,09	146,73 \pm 0,09
Produção			149,11 \pm 0,29	145,6 \pm 0,32

Tabela C16 - Valores das coordenadas colorimétricas e diferença total de cor para os ensaios do Teste 2.

Ensaio	$\Delta a^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta b^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta L^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta E^* (\bar{x} \pm \sigma)$
1	-0,51 \pm 0,01	0,62 \pm 0,02	-0,21 \pm 0,00	0,83 \pm 0,02
2	-0,05 \pm 0,01	-0,20 \pm 0,02	-0,19 \pm 0,00	0,28 \pm 0,01
3	0,10 \pm 0,01	-0,50 \pm 0,03	-0,14 \pm 0,00	0,53 \pm 0,03
4	0,13 \pm 0,01	-0,43 \pm 0,01	-0,06 \pm 0,01	0,45 \pm 0,02
5	0,08 \pm 0,01	-0,37 \pm 0,01	-0,22 \pm 0,00	0,44 \pm 0,01
6	0,44 \pm 0,01	-0,99 \pm 0,02	-0,24 \pm 0,01	1,11 \pm 0,02
7	0,50 \pm 0,01	-0,60 \pm 0,02	-0,21 \pm 0,00	0,81 \pm 0,02

Tabela C17 - Valores do grau de brancura CIE e Berger para as diferentes temperaturas e tempos de termofixação para o Teste 3.

Ensaio	$T_{\text{termofixação}} / ^\circ\text{C}$	$t_{\text{termofixação}} / \text{s}$	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
1	180	15	140,28 \pm 0,26	143,08 \pm 0,23
2	180	20	144,32 \pm 0,04	147,10 \pm 0,11
3	180	25	146,21 \pm 0,03	149,12 \pm 0,01
4	180	30	146,87 \pm 0,09	149,54 \pm 0,11
5	190	20	147,39 \pm 0,31	149,98 \pm 0,38
6	200	20	146,82 \pm 0,15	148,64 \pm 0,19
7	210	20	141,71 \pm 0,03	142,04 \pm 0,02
Produção			144,96 \pm 0,01	147,63 \pm 0,02

Tabela C18 - Valores das coordenadas colorimétricas e diferença total de cor para os ensaios do Teste 3.

Ensaio	$\Delta a^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta b^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta L^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta E^* (\bar{x} \pm \sigma)$
1	-0,58 \pm 0,05	1,10 \pm 0,06	0,13 \pm 0,01	1,25 \pm 0,08
2	-0,05 \pm 0,02	0,19 \pm 0,01	0,13 \pm 0,04	0,24 \pm 0,04
3	0,18 \pm 0,01	-0,21 \pm 0,01	0,21 \pm 0,01	0,31 \pm 0,05
4	0,30 \pm 0,01	-0,41 \pm 0,03	0,05 \pm 0,01	0,51 \pm 0,01
5	0,44 \pm 0,01	-0,52 \pm 0,06	0,09 \pm 0,02	0,69 \pm 0,06
6	0,68 \pm 0,01	-0,44 \pm 0,03	-0,04 \pm 0,01	0,81 \pm 0,02
7	0,54 \pm 0,01	0,54 \pm 0,01	-0,45 \pm 0,01	0,89 \pm 0,01

Tabela C19 - Valores do grau de brancura CIE e Berger para as diferentes temperaturas e tempos de termofixação para o Teste 4

Ensaio	$T_{\text{termofixação}} / ^\circ\text{C}$	$t_{\text{termofixação}} / \text{s}$	WI CIE ($\bar{x} \pm \sigma$)	WI Berger ($\bar{x} \pm \sigma$)
1	180	15	137,66 \pm 0,37	138,55 \pm 0,41
2	180	20	141,89 \pm 0,24	142,23 \pm 0,21
3	180	25	144,83 \pm 0,05	145,17 \pm 0,21
4	180	30	145,61 \pm 0,09	145,72 \pm 0,08
5	190	20	145,19 \pm 0,29	145,28 \pm 0,36
6	200	20	146,87 \pm 0,20	146,95 \pm 0,24
7	210	20	144,78 \pm 0,64	145,16 \pm 0,18
Produção			144,05 \pm 0,01	145,18 \pm 0,02

Tabela C20 - Valores das coordenadas colorimétricas e diferença total de cor para os ensaios do Teste 4.

Ensaio	$\Delta a^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta b^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta L^* (\bar{x} \pm \sigma)$	$\Delta E^* (\bar{x} \pm \sigma)$
1	-0,88 \pm 0,05	1,28 \pm 0,07	-0,39 \pm 0,05	1,60 \pm 0,09
2	-0,19 \pm 0,05	0,29 \pm 0,06	-0,50 \pm 0,02	0,62 \pm 0,04
3	0,12 \pm 0,04	-0,37 \pm 0,01	-0,53 \pm 0,06	0,66 \pm 0,06
4	0,40 \pm 0,01	-0,65 \pm 0,04	-0,53 \pm 0,01	0,92 \pm 0,03
5	0,29 \pm 0,05	-0,46 \pm 0,06	-0,55 \pm 0,02	0,77 \pm 0,04
6	0,37 \pm 0,01	-0,42 \pm 0,02	-0,50 \pm 0,05	0,75 \pm 0,03
7	0,50 \pm 0,01	-0,83 \pm 0,04	-0,54 \pm 0,02	1,11 \pm 0,03

Anexo D - Resultados do Balanço Económico

Tabela D1 - Custos associados a cada secção do processo produtivo para os 2 circuitos.

Custos / Cêntimos·m ⁻¹	Gaseadeira		Máquina de branquear (LP5)		Fim preparação		Enrolador		1ª Revista		Râmola		Sanfor		2ª Revista	
	Antigo	Novo	Antigo	Novo	Antigo	Novo	Antigo	Novo	Antigo	Novo	Antigo	Novo	Antigo	Novo	Antigo	Novo
Receitas	5,28		6,41	2,71	-		-		-		10,3	9,73	-		-	
Custos Diretos	0,50		3,10	1,55	0,89		0,41		0,59		2,97	2,46	0,78		10,7	
Fluídos	0,28		3,16	1,58	-		-		-		3,58	2,57	0,57		-	
Energia	0,15		0,62	0,31	-		0,04		-		1,31	1,08	0,21		4,13	
Custos indiretos	-		-	-	-		-		-		-	-	-		7,97	
Total	6,22		13,3	6,15	0,89		0,45		0,59		18,2	15,8	1,56		22,8	