



Desenvolvimento e otimização de um processo de tingimento por impregnação de fibras celulósicas com corantes reativos

Francisco Manuel Monteiro Machado

UMinho | 2023

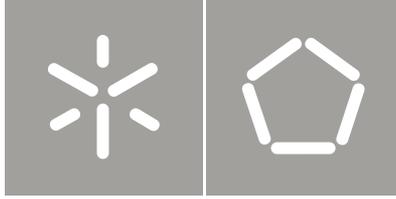


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Manuel Monteiro Machado

Desenvolvimento e otimização de um processo de tingimento por impregnação de fibras celulósicas com corantes reativos

Dezembro de 2023



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Francisco Manuel Monteiro Machado

Desenvolvimento e otimização de um processo
de tingimento por impregnação de fibras
celulósicas com corantes reativos

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Têxtil
Área de Especialização Materiais e Tecnologias Avançadas

Trabalho realizado sob a orientação de
Professor Doutor Jorge Gomes Santos

Dezembro de 2023

DIREITOS DE AUTORE CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

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

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

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

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição
CC BY**

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

Agradecimentos

É com grande estima que pretendo demonstrar a minha sincera gratidão a todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste projeto de dissertação. Apesar de ser um processo individual, seria impensável realizá-lo sem o contributo de várias pessoas.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha profunda gratidão ao meu orientador académico Professor Doutor Jorge Gomes Santos, pelo seu apoio incansável e por todos os comentários construtivos que me guiaram na direção certa. Além disso, por estar sempre disponível, oferecendo e apresentando sugestões relevantes para resolver os desafios que surgiram durante todo o processo. Mais uma vez, obrigado!

À minha orientadora na Têxteis J. F. Almeida S.A, Eng. Ana Neves, pela confiança depositada nas minhas capacidades de trabalho, pelo acompanhamento e aprendizagens transmitidas, que terei sempre como referência tanto a nível profissional como pessoal.

À Têxteis J. F. Almeida S.A, obrigado pela oportunidade proporcionada e por garantirem todas as condições necessárias a nível de materiais, produtos e equipamentos para o desenvolvimento deste estudo.

Agradeço também à equipa do laboratório por me receber calorosamente e partilhar comigo todo o conhecimento que possuíam, além de me fazer sentir parte integrante do grupo. A vossa experiência, conselhos e colaboração foram fundamentais para a realização deste trabalho. Agradeço particularmente à analista Maria por me oferecer um apoio constante e por toda a ajuda prestada ao longo do desenvolvimento deste projeto.

A todos os meus professores e ao Departamento de Engenharia Têxtil por contribuírem, cada um deles na sua forma individual, não só para a minha formação, enquanto profissional, mas também enquanto ser humano.

Não posso deixar de agradecer também a todos os meus amigos que, nos momentos de dúvida e cansaço, me encorajaram a continuar sem nunca terem permitido que o desalento se instalasse. Expresso o meu agradecimento especial às minhas amigas Carol e Raquel, pelas conversas sinceras e pelos conselhos que me desafiaram a crescer e a ser uma melhor versão de mim mesmo.

Agradeço também a todos os meus colegas de turma, que compartilharam esta jornada académica comigo. À Maria, Margarida, Cátia, Carina, Sousa, Rui e à Carolina pela camaradagem, pelas noites de estudo e pelas incríveis memórias que levo para a vida, o meu sincero obrigado!

Por fim, um agradecimento muito especial à minha família, sobretudo aos meus pais e às minhas irmãs por todo o apoio incansável, paciência e amor desmedido, sem os quais não seria possível terminar este percurso. A vossa presença e apoio foram a âncora que me manteve firme durante esta jornada e esta conquista também é vossa.

A todos os meus sinceros agradecimentos

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

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

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

Resumo

A indústria têxtil é amplamente reconhecida como uma das mais prejudiciais ao meio ambiente, tornando-se incontestável optar por práticas mais sustentáveis, continuando simultaneamente a investir no desenvolvimento de produtos inovadores que se distinguem pela sua qualidade. Para isto, a Têxteis J. F. Almeida S.A. apostou no desenvolvimento de uma nova linha de tingimento de tecidos por processos de impregnação, que permitirá o tingimento de longas metragens com reduzido consumo de recursos hídricos e energéticos, promovendo por essa via a sustentabilidade.

Dada a implementação de uma nova unidade produtiva, tornou-se imperativo analisar o desempenho global da mesma, de forma a contribuir para a sua melhoria e otimização, sendo esse o propósito do presente trabalho. Neste âmbito, selecionaram-se os corantes mais aptos para aplicação por processos *pad-batch* e avaliou-se a sua suscetibilidade à alteração de cor quando submetidos a acabamentos químicos com resinas. Posto isto, desenvolveram-se modelos matemáticos para os corantes da gama de corantes *Levafix CA*, capazes de prever o nível de alteração de cor sofrido pelo material tingido, após acabamento com resinas, no momento de formulação da receita. Estes modelos apresentaram resultados bastante satisfatórios, uma vez que permitiram prever com elevado rigor a probabilidade da obtenção de produtos não conformes após a realização de acabamentos com resinas.

Posteriormente, analisaram-se os resultados recolhidos da produção, relacionados com a realização de tingimentos com corantes reativos através do processo *pad-batch* e verificou-se a existência de um elevado número de não conformidades, constatando-se dessa forma a existência de graves problemas ao nível da reprodutibilidade de cor entre laboratório e produção. Neste sentido, optou-se por avaliar também esta situação, bem como os possíveis fatores responsáveis pela mesma, tendo como objetivo solucionar essas inconformidades.

Assim, desenvolveu-se um conjunto de ensaios laboratoriais e testes produtivos para avaliar os diferentes fatores que podem influenciar o processo de tingimento destacando-se de entre eles: a taxa de humidade residual dos tecidos, a taxa de expressão aplicada no *foulard*, o pH do banho de tingimento, a influência da temperatura no rendimento colorístico e a eficácia do processo de lavagem, tendo como objetivo otimizar a reprodutibilidade entre laboratório e produção. Desta análise, depreendeu-se uma aplicação inadequada das taxas de expressão, contudo, os restantes parâmetros avaliados encontravam-se em conformidade, podendo ser descartados como possíveis fatores causadores das diferenças de tonalidade.

Palavras-chaves: Alteração de cor | Corantes Reativos | Pad-batch | Reprodutibilidade | Resinas

Abstract

The textile industry is widely recognized as one of the most environmentally harmful, making it unquestionable to opt for more sustainable practices while simultaneously continuing to invest in the development of innovative products that stand out for their quality. To achieve this, Têxteis J. F. Almeida S.A. has invested in the development of a new fabric dyeing line using impregnation processes, which will enable long lengths of fabric to be dyed with reduced consumption of water and energy resources, thereby promoting sustainability.

Due to the implementation of a new production unit, it became imperative to analyze its overall performance to contribute to its improvement and optimization, which is the purpose of this work. In this context, the most suitable dyes for pad-batch processes were selected, and their susceptibility to color change when subjected to chemical finishes with resins was evaluated. Subsequently, mathematical models were developed for the Levafix CA dye range to predict the level of color change experienced by the dyed material after finishing with resins at the recipe formulation stage. These models yielded very satisfactory results, as they allowed for a highly accurate prediction of the likelihood of non-conforming products after resin finishing.

Subsequently, the results of dyeing with reactive dyes through the pad-batch process were analyzed, and the existence of a high number of non-conformance was determined, indicating serious issues with color reproducibility between the laboratory and production. In this regard, it was decided to evaluate this situation, as well as the possible factors responsible for it, with the aim of resolving these non-conformities.

Therefore, a series of laboratory tests and production tests were conducted to assess the various factors that can influence the dyeing process, including: the residual moisture content of the fabrics, the pressure rate applied on the foulard, the pH of the dye bath, the influence of temperature on color yield, and the efficiency of the washing process, with the goal of optimizing reproducibility between the laboratory and production. From this analysis, it was deduced that there was inadequate application of the pressure rates; however, the other evaluated parameters were in compliance and could be ruled out as potential causes of the differences in color tone.

Key words: Color change | Reactive Dyes | Pad-batch | Reproducibility | Resins

Índice

1. Introdução	1
1.1. Estrutura da dissertação.....	1
1.2. Enquadramento	2
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Apresentação da empresa	3
2. Enquadramento Teórico.....	5
2.1. Fibras Têxteis.....	5
2.1.1. Fibra de algodão	6
2.1.1.1. Estrutura da fibra de algodão	6
2.1.1.2. Composição da fibra de algodão	7
2.2. Preparação ou tratamento prévio.....	8
2.2.1. Operações de tratamento prévio	9
2.3. Corantes.....	10
2.3.1. Corantes Reativos.....	11
2.3.1.1. Estrutura dos corantes reativos	11
2.3.1.2. Corantes reativos monofuncionais, bifuncionais e polifuncionais	13
2.3.1.3. Principais grupos reativos.....	15
2.3.1.4. Reação química entre os corantes reativos e as fibras de algodão.....	16
2.3.1.5. Reação química entre os corantes reativos e a água	17
2.4. Tingimento.....	18
2.4.1. Tingimento por esgotamento	19
2.4.2. Tingimento por impregnação	19
2.4.2.1. Processos semi-contínuos	19
2.4.2.2. Processos em contínuo	20
2.4.2.3. Taxa de expressão	20

2.4.3. Principais variáveis do processo de tingimento por impregnação de fibras celulósicas com corantes reativos	21
2.5. Colorimetria	22
2.5.1. Espaço Colorimétrico CIELab.....	22
3. Materiais e Métodos	24
3.1. Materiais.....	24
3.2. Métodos.....	26
3.2.1. Processo de tingimento	26
3.2.2. Acabamento com resinas	27
3.2.3. Avaliação da alteração de cor	27
3.2.4. Desenvolvimento de modelos matemáticos para prever a alteração de cor após a realização de acabamentos com resinas.....	28
3.2.5. Metodologia utilizada na análise e estudo da reprodutibilidade entre laboratório e produção	30
3.2.5.1. Método de recolha das amostras.....	30
3.2.5.2. Método de lavagem das amostras no laboratório	30
3.2.5.3. Método de lavagem das amostras em produção	30
3.2.5.4. Comparação da eficácia de diferentes detergentes nas metodologias de lavagem	31
3.2.5.5. Determinação das taxas de expressão utilizadas no laboratório e na produção....	32
3.2.5.6. Avaliação da Influência da Temperatura de maturação no Processo de Tingimento em <i>Pad-Batch</i>	32
3.2.5.7. Análise da Taxa de Humidade Residual dos substratos utilizados no laboratório e na produção	32
3.2.5.8. Análise da Precisão na quantidade de Auxiliares de Tingimento no Processo de Tinturaria.....	33
4. Apresentação e discussão dos resultados	34
4.1. Análise da alteração de cor após acabamento com resinas	34

4.1.1.	Corantes Reativos Everzol.....	34
4.1.2.	Corantes Reativos Remazol.....	35
4.1.3.	Corantes Reativos Levafix CA.....	36
4.1.4.	Avaliação global da alteração de cor de tecidos após acabamento com resinas	37
4.1.5.	Modelos matemáticos para previsão da alteração de cor dos corantes da gama Levafix CA, em função da concentração de corante aplicada.	39
4.1.5.1.	Amarelo Levafix CA	39
4.1.5.2.	Amber Levafix CA-N	41
4.1.5.3.	Vermelho Levafix CA	43
4.1.5.4.	Azul Levafix CA	45
4.1.5.5.	Avaliação Global à análise das coordenadas de cor da gama Levafix CA.....	48
4.1.5.6.	Aplicação dos modelos matemáticos desenvolvidos na previsão de alteração de cor em materiais tingidos com tricromias, após acabamento com resinas.....	49
4.2.	Estudo da reprodutibilidade e comparação de processos entre laboratório e produção	53
4.2.1.	Análise e comparação da Taxa de Humidade Residual dos substratos armazenados em laboratório e na produção.....	54
4.2.2.	Comparação das taxas de expressão utilizadas no laboratório e na produção	55
4.2.3.	Análise de pH da solução de tingimento utilizada na produção	58
4.2.4.	Avaliação da Influência da Temperatura de Maturação no Processo de Tingimento em <i>Pad-Batch</i>	59
4.2.5.	Avaliação das condições em que são realizadas as lavagens finais do substrato têxtil ..	60
4.2.6.	Comparação da eficácia de diferentes detergentes no processo de lavagem	63
5.	Conclusão e Trabalhos Futuros	64
5.1.	Conclusão.....	64
5.2.	Trabalhos Futuros	65
	Referências Bibliográficas.....	66
	Anexos.....	72

Anexo I- Propriedades das resinas aplicadas nos acabamentos	72
Anexo II- Propriedades de reagentes utilizados nos acabamentos	73
Anexo III- Determinação da quantidade de auxiliares de tingimento com base na gama de corantes utilizados.....	74
Anexo IV- Protocolo de reprodução de cores utilizado pela Têxteis J. F. Almeida.....	75
Anexo V- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Everzol quando submetidos a acabamentos com resinas.....	76
Anexo VI- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Remazol quando submetidos a acabamentos com resinas.....	74
AnexoVII- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Levafix CA quando submetidos a acabamentos com resinas.....	75
Anexo VIII- Resultados do modelo matemático para acabamentos com resinas isentas de formaldeído.....	76
Anexo IX- Resultados do modelo matemático para acabamentos com resinas com baixo teor de formaldeído.....	77
Anexo X- Determinação de taxas de expressão utilizadas no laboratório e na produção	78

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

CIE	Comissão Internacional de Iluminação (do francês <i>Commission Internationale l'Éclairage</i>)
CL	Linho
CO	Algodão
CMC	<i>Colour Measurement Committee of the Society of Dyes and Colourists of Great Britain</i>
DMDHEU	<i>Dimetiloldihidroxi-etileno ureia</i>
GOTS	Padrão Global de Têxteis Orgânicos (do inglês Global Organic Textile Standard)
JFA	Têxteis J. F. Almeida S.A.

Índice de Figuras

Figura 1- Estrutura da fibra de algodão, adaptado de (Vančo, Krmela, & Pešlová, 2016).....	6
Figura 2- Fórmula estrutural da celulose	7
Figura 3- Mecanismos de reação de um corante reativo monoclorotriazina com a celulose (Boaventura, 2018).....	11
Figura 4- Representação esquemática da estrutura dos corantes reativos.....	11
Figura 5- Constituição de um corante reativo	12
Figura 6- Estrutura química de um corante reativo homobifuncional	13
Figura 7- Mecanismo de adição nucleofílica entre um corante vinilsulfónico e a celulose	16
Figura 8- Mecanismo de substituição nucleofílica entre um corante reativo diclorotriazina e a celulose	17
Figura 9- Reação química entre o grupo reativo diclorotriazina e a água	18
Figura 10- Representação da perceção da cor pelo ser humano	22
Figura 11- Sistema de coordenadas CIELab	23
Figura 12- Râmola de laboratório Mesdan (A) e Foulard de laboratório Benninger (B) utilizados neste estudo.....	27
Figura 13- Espectrofotómetro X-Rite CI 7000 utilizado no estudo	28
Figura 14- Medidor de pH do laboratório da Têxteis J. F. Almeida	33
Figura 15- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Everzol.....	35
Figura 16- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Remazol.....	36
Figura 17- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Levafix CA.....	37
Figura 18- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Amarelo Levafix CA aplicado	40
Figura 19- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Amarelo Levafix CA aplicado.....	41
Figura 20- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Amber Levafix CA-N aplicado	42

Figura 21- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Amber Levafix CA-N aplicado.....	43
Figura 22- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Vermelho brilhante Levafix CA aplicado.....	44
Figura 23- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Vermelho brilhante Levafix CA aplicado.....	45
Figura 24- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Azul Levafix CA aplicado.....	47
Figura 25- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante Azul Levafix CA aplicado.....	47
Figura 26- Percentagem de não conformidades obtidas pela Têxteis J.F.Almeida em processos pad-batch.....	53
Figura 27- Quantidades de auxiliares de tingimento utilizada pela Têxteis J.F. Almeida S.A, em processos pad-batch dependendo da gama de corantes utilizada.....	74
Figura 28- Protocolo de reprodução de cores em pad-batch pela Têxteis J. F. Almeida.....	75

Índice de Tabelas

Tabela 1- Composição química média das fibras de algodão	8
Tabela 2- Tipos de classificação de corantes (Castro, 2019).....	10
Tabela 3- Classificação dos corantes bifuncionais	13
Tabela 4- Principais grupos reativos (Antunes, 2019) (Castro, 2019).....	15
Tabela 5- Processos de tingimento semi-contínuos.....	19
Tabela 6- Processos de tingimento em contínuo.....	20
Tabela 7- Ficha técnica do tecido utilizado	24
Tabela 8- Reagentes utilizados no desenvolvimento do estudo.....	25
Tabela 9- Receita base para o tingimento de corantes isoladamente ou em tricromia	26
Tabela 10- Receita base para formulação dos diferentes acabamentos	27
Tabela 11- Comparação das diferenças de cor reais e teóricas das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos Levafix CA, para acabamentos com resinas isentas de formaldeído.....	50
Tabela 12- Comparação das diferenças de cor reais e teóricas das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos Levafix CA, para acabamentos com resinas com baixo teor de formaldeído	51
Tabela 13- Taxa de humidade residual de artigos armazenados em laboratório e produção	55
Tabela 14- Taxas de expressão aplicadas a diferentes artigos em laboratório e produção	57
Tabela 15- Valores de pH no início e final de cada partida de tingimento.....	58
Tabela 16- Resultados colorimétricos à luz D65 da influência da temperatura no processo de maturação em pad-batch	60
Tabela 17- Resultados colorimétricos à luz D65 relativos à eficácia do processo de lavagem	61
Tabela 18- Diferença de cor entre as amostras ensaboadas com os detergentes utilizados na produção e no laboratório	63
Tabela 19- Propriedades das resinas Arkofiz NZF New liq e Fixapret NDF liq c utilizadas no estudo .	72
Tabela 20- Propriedades dos reagentes utilizados no estudo.....	73
Tabela 21- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Everzol quando submetidos a acabamentos com resinas	76
Tabela 22- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Remazol quando submetidos a acabamentos com resinas.....	74
Tabela 23- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Levafix CA quando submetidos a acabamentos com resinas.....	75

Tabela 24- Comparação das diferenças de cor teóricas e reais das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos da gama Levafix CA e acabadas com resinas isentas de formaldeído	76
Tabela 25- Comparação das diferenças de cor teóricas e reais das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos da gama Levafix CA e acabadas com resinas com baixo teor de formaldeído.....	77
Tabela 26- Comparação e determinação das taxas de expressão utilizadas no laboratório e na produção	78

Índice de esquemas

Esquema 1- Representação esquemática da classificação das fibras têxteis	5
Esquema 2- Representação esquemática da probabilidade de fixação de um corante reativo bifuncional	14
Esquema 3- Representação esquemática referente à formulação do modelo matemático para prevenção de alteração de cor após acabamentos com resinas.....	29
Esquema 4- Representação esquemática referente à validação do modelo matemático para prevenção de alteração de cor após acabamentos com resinas.....	29
Esquema 5- Representação esquemática do processo de lavagem industrial na Têxteis J. F. Almeida	31

Índice de equações

Equação 1- Determinação da taxa de expressão	20
Equação 2- Determinação da diferença de cor através do modelo CIELab	23
Equação 3- Determinação da Taxa de Humidade Residual	33
Equação 4- Cálculo da diferença entre duas cores, através do modelo CIELab	49

1. Introdução

Ao longo do capítulo 1, Introdução, encontra-se descrito o enquadramento teórico, os principais objetivos da presente dissertação e a sua estrutura organizacional, com intuito de facilitar a compreensão dos assuntos abordados. Ademais, será apresentada a Têxteis J. F. Almeida S.A, local onde foi realizado o estudo.

1.1. Estrutura da dissertação

O presente trabalho segue uma estrutura organizada em cinco capítulos, com o objetivo de abordar de forma abrangente todos os tópicos pertinentes para a realização desta dissertação. Esses capítulos encontram-se subdivididos em seções com o intuito de proporcionar uma maior clareza e detalhe.

O Capítulo I é dedicado à introdução deste trabalho, onde se apresenta o enquadramento e os objetivos a serem alcançados. Além disso, é efetuada uma breve apresentação da empresa Têxteis J. F. Almeida. SA., na qual esta pesquisa foi conduzida.

Já o Capítulo II, tem como foco a literatura existente no que se refere à fibra de algodão, aos corantes reativos, aos processos de tingimento atuais e à colorimetria. Neste sentido, este capítulo abrange aspetos teóricos fundamentais para a compreensão do presente trabalho.

No Capítulo III é abordada a descrição detalhada da componente experimental deste projeto, incluindo a caracterização do substrato têxtil, a formulação das receitas e processos de aplicação utilizados, bem como os ensaios conduzidos para a análise da reprodutibilidade.

O Capítulo IV, debate detalhadamente os resultados obtidos nos ensaios realizados, com um especial foco na alteração de cor resultante de acabamentos com resinas, bem como nos parâmetros que influenciam a eficácia da reprodutibilidade entre laboratório e produção.

Finalmente, no Capítulo V, são apresentadas as conclusões finais deste estudo e sugeridas alguns trabalhos para futuras investigações.

1.2. Enquadramento

O setor têxtil integra um conjunto de atividades muito extenso, multifacetado e em constante desenvolvimento. Existe uma grande possibilidade de aplicação dos produtos provenientes desta indústria, desde têxteis-lar, vestuário, indústria automóvel, indústria aeronáutica, entre outros. (Durães, 2020).

O mercado têxtil encontra-se em constante mudança e evolução necessitando as organizações de uma constante adaptação para conseguirem acompanhar esse desenvolvimento e satisfazer um mercado altamente competitivo e com clientes cada vez mais rigorosos e exigentes. Neste sentido, a indústria têxtil necessita de melhorar e inovar de forma contínua as suas tecnologias e processos, para que seja possível trabalhar com criatividade no desenvolvimento de novos produtos e assim oferecer alternativas que conciliem sustentabilidade, agilidade e inovação (Têxteis, 2019).

Dado o facto de a indústria têxtil ser uma das mais poluidoras, torna-se imperativo optar por processos mais sustentáveis, continuando, no entanto, a apostar em simultâneo no desenvolvimento de produtos inovadores que primam pela sua qualidade e valor acrescentado.

Neste contexto, procedeu-se no âmbito da presente dissertação à realização de um estudo que tem como objetivo o desenvolvimento e otimização de um processo de tingimento por impregnação de fibras celulósicas com corantes reativos. Este estudo surge na sequência da decisão da empresa em desenvolver um novo produto (roupa de cama), cujo tingimento se concluiu ser mais rentável e sustentável se desenvolvido através de processos de impregnação. A decisão da empresa em adotar este tipo de processo de tingimento deve-se essencialmente à grande preocupação de recorrer a processos mais sustentáveis, permitindo uma diminuição da pegada ecológica.

O recurso a este tipo de processo permitirá reduzir o consumo de recursos hídricos e energéticos, promovendo por essa via a sustentabilidade e dando resposta à crise energética que enfrentamos. Este projeto revelou-se bastante desafiador e enriquecedor, uma vez que, permitiu acompanhar e auxiliar não só a montagem de um novo setor produtivo, mas também contribuir para o desenvolvimento e otimização de processos produtivos mais sustentáveis. Além disso, o facto da componente experimental ser realizada em ambiente industrial, possibilitou o contacto direto com os problemas reais do processamento têxtil, resultando numa aprendizagem bastante diversificada e muito gratificante.

1.3. Objetivos

O principal objetivo deste projeto, consiste no desenvolvimento e otimização de um processo de tingimento semi-contínuo, de modo a reduzir os desperdícios e as ineficiências e consequentemente, promover um incremento na sustentabilidade, aliada a uma diminuição de custos. Para a concretização deste objetivo foi necessário desenvolver um vasto conjunto de tarefas, nomeadamente:

- Documentar todo o processo de pré-tratamento e tingimento;
- Reconhecer os fatores controláveis e os fatores não controláveis associados aos processos de tingimento por impregnação;
- Selecionar os corantes mais aptos para aplicação por processos *pad-batch* e avaliar a sua suscetibilidade a sofrer alteração de cor quando o material tingido é submetido a acabamentos com resinas;
- Otimizar o processo de formulação de receitas de tingimento;
- Analisar a influência das condições de processamento no tempo de maturação e no rendimento tintorial do processo;
- Desenvolver o processo de tingimento a utilizar pela empresa no desenvolvimento de cores em *pad-batch*;
- Analisar criticamente o processo, de forma a identificar ineficiências e desperdícios, ou seja, detetar falhas ao longo do processo produtivo e propor alternativas para a sua eliminação e/ou atenuação;
- Otimizar a reprodutibilidade entre laboratório e produção.

Com base na informação disponível na literatura e nos dados recolhidos no âmbito do estudo realizado foi possível desenvolver e otimizar um novo processo produtivo com menor impacto ambiental, economicamente mais rentável e com reduzido número de não conformidades.

1.4. Apresentação da empresa

A Têxteis J. F. Almeida S.A, fundada por Joaquim Almeida em 1979 e com sede em Moreira de Cónegos, Guimarães, destaca-se por ser uma empresa altamente integrada verticalmente, uma vez que efetua todos os processos, desde a preparação da fibra em cru até à confeção do produto e expedição. Atualmente, dispõem de quatro núcleos de produção distintos (Fiação, Tecelagem, Tinturaria, Confeção) permitindo o acompanhamento de toda a cadeia têxtil.

Ao nível da tinturaria, a Têxteis J. F. Almeida tem direcionado consideráveis investimentos na expansão da sua capacidade produtiva, com o objetivo de estimular uma maior rapidez, eficácia e qualidade, promovendo uma maior satisfação dos seus clientes. No que concerne à tinturaria em peça, constituída por 23 jets de alta pressão e que otimizam a quantidade de água consumida, produz mensalmente mais de 1000 toneladas de material tingido. Enquanto isso, a tinturaria de fio, equipada com 32 máquinas de última geração, que utilizam reduzidas razões de banho, apresentam uma produtividade mensal que ultrapassa as 330 toneladas.

A Têxteis J. F. Almeida preocupa-se com a ecologia, sustentabilidade, proteção do meio ambiente e com a melhoria contínua de produtos e processos, tendo obtido as certificações que asseguram estas premissas aos consumidores, dos quais se destaca o Certificado “GOTS” (Global Organic Textile Standard) e a norma ISO 9001.

Neste sentido, a J. F. Almeida investiu, recentemente, na criação de uma nova linha de acabamentos têxteis, que permitirá dar resposta ao tingimento e acabamento de tecidos por impregnação. O recurso a este tipo de processo permitirá reduzir o consumo de recursos hídricos e energéticos, promovendo por essa via a sustentabilidade e dando resposta à crise energética que se enfrenta.

Por fim, a J. F. Almeida tem como principais objetivos preservar a excelência no serviço aos clientes, promover inovação, criatividade e credibilidade e estimular o desenvolvimento dos recursos que são produzidos na localidade, bem como garantir a excelência e eficiência dos processos.

2. Enquadramento Teórico

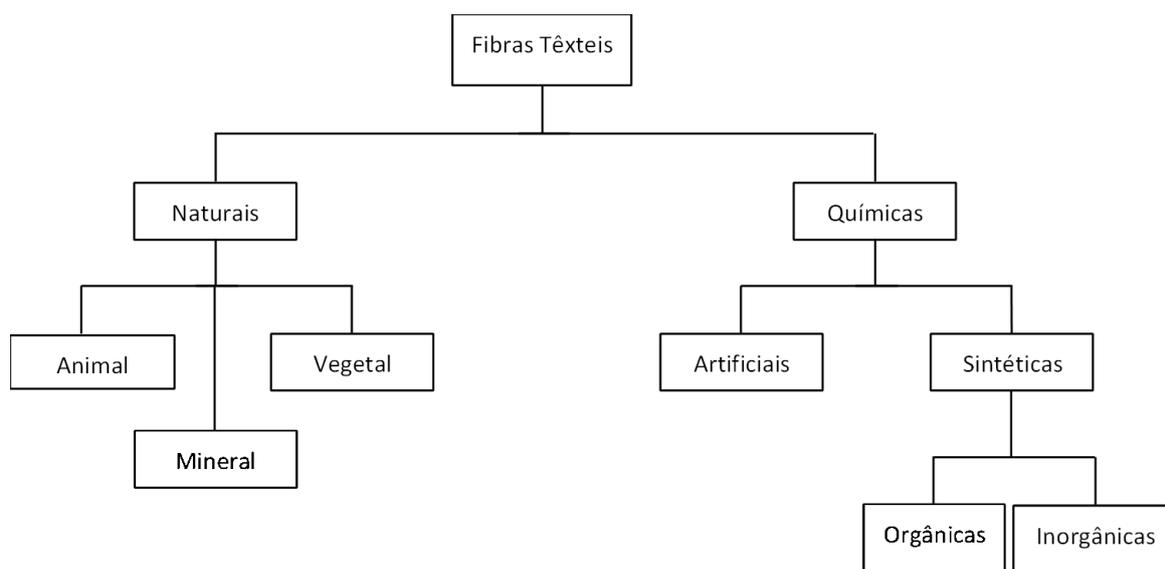
No enquadramento teórico, são identificados os temas mais relevantes da pesquisa bibliográfica realizada, dando-se especial atenção aos conceitos relacionados com a fibra de algodão e os processos de tingimento que possibilitam a sua coloração. Além disso, são abordadas as características fundamentais relativamente aos corantes reativos e aos seus mecanismos reacionais, bem como os principais fatores influenciadores do tingimento por impregnação.

2.1. Fibras Têxteis

As fibras têxteis são elementos filiformes, caracterizados pela sua flexibilidade, finura e elevado comprimento em relação à dimensão transversal máxima. Ademais, são constituídas por macromoléculas, ou seja, por um conjunto de polímeros, quimicamente estável, que por sua vez são constituídos por um conjunto de monómeros. (Fibrenamics, 2023)

As fibras têxteis podem ser divididas em duas grandes classes, as fibras naturais e as não naturais, sendo este o critério vulgarmente utilizado para a sua classificação. As fibras naturais são obtidas diretamente da natureza, sob uma forma que as tornam aptas para o processamento têxtil, enquanto as não naturais são obtidas através do processamento industrial de polímeros naturais transformados por ação de reagentes químicos (fibras artificiais) ou de polímeros obtidos por síntese química (fibras sintéticas) (ABIT, 2015) (Fernandes, 2019).

No Esquema 1 encontra-se, de forma sucinta, esquematicamente representada a classificação atual das fibras têxteis.



Esquema 1- Representação esquemática da classificação das fibras têxteis

2.1.1. Fibra de algodão

O algodão, obtido a partir da penugem que envolve as sementes do algodoeiro, desenvolve-se a partir de uma única célula epidérmica do tegumento externo da semente dos frutos de algumas espécies do género *Gossypium*, da família da *Malvácea*. (Mário de Araújo, 1984)

Atualmente, as fibras de algodão são as fibras têxteis celulósicas mais utilizadas a nível mundial, podendo ser aplicadas numa multiplicidade de áreas que vão desde vestuário, têxteis-lar, equipamentos de proteção até aos produtos industriais. (Silva, 2018)

2.1.1.1. Estrutura da fibra de algodão

No que concerne à estrutura da fibra do algodão, esta é composta por quatro regiões, mais especificamente, pela cutícula, parede primária, parede secundária e lúmen, tal como representado na Figura 1. (J. McLoughlin, 2015)

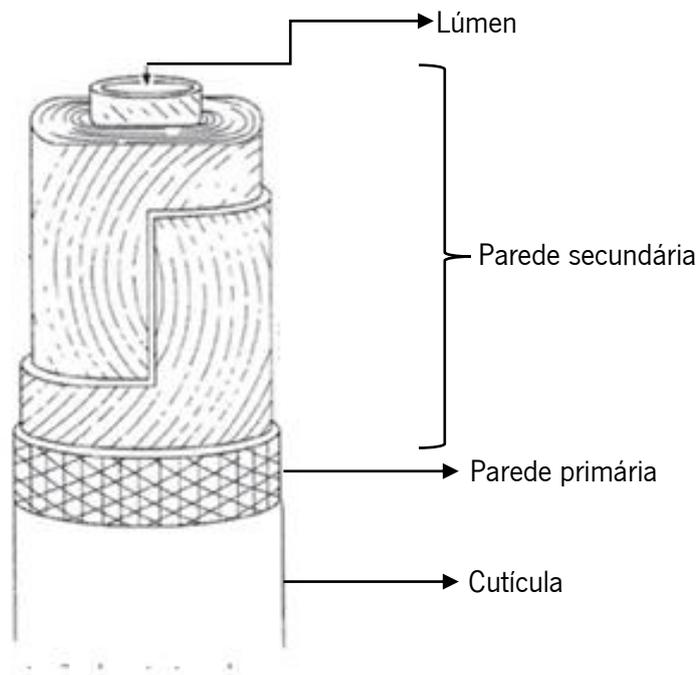


Figura 1- Estrutura da fibra de algodão, adaptado de (Vančo, Krmela, & Pešlová, 2016)

A cutícula é essencialmente constituída por componentes lipídicos (ceras e ácidos gordos), sendo, deste modo, responsável pela hidrofobicidade da fibra no seu estado natural juntamente com as pectinas. Além disso, funciona como uma barreira, protegendo a fibra de eventuais agressões ambientais. (Bastos, 2003)

A parede primária é composta na sua maioria por celulose, contudo também contém pectinas, proteínas e ceras, sendo revestida pelos compostos que constituem a cutícula. Por sua vez, a parede secundária constitui a parte mais volumosa da fibra, sendo composta por subcamadas concêntricas de celulose, que proporcionam uma elevada cristalinidade, razão pela qual esta camada é responsável pela resistência mecânica da fibra. Por último, o lúmen, é o espaço vazio dentro da fibra que depois de colapsar forma um canal que varia em forma e tamanho, sendo principalmente constituído por substâncias proteicas. (Gordon & Hsieh, 2007) (Bastos, 2003)

2.1.1.2. Composição da fibra de algodão

A composição química da fibra de algodão pode ser influenciada por diversos fatores ambientais, nomeadamente o tipo de solo, quantidade de água, temperatura e a presença de pragas agrícolas. Ademais, outro fator influenciador da composição química das fibras de algodão é o seu grau de maturação, ou seja, quanto maior for o desenvolvimento da fibra maior será a percentagem de componentes celulósicos na sua constituição. (Gordon & Hsieh, 2007)

A fibra de algodão é essencialmente constituída por celulose pura $(C_6H_{10}O_5)_n$, a qual representa 88% a 96,5% da sua composição. Além disso, contém pequenas percentagens de componentes não celulósicos, dos quais se podem destacar as pectinas (0,4 a 1,2%), ceras naturais (0,4 a 1,2%), compostos inorgânicos (0,7 a 1,6%), proteínas (1,0 a 1,9%) e outras substâncias como água, minerais, etc. (0,5 a 8,0%). (Gordon & Hsieh, 2007)

Os compostos não celulósicos constituem um conjunto de impurezas que comprometem a realização de processos posteriores de acabamentos estamparia e tinturaria, e como tal, devem ser removidos, através de tratamentos adequados. A Tabela 1 apresenta a composição química média das fibras de algodão e a Figura 2 a estrutura química da celulose.

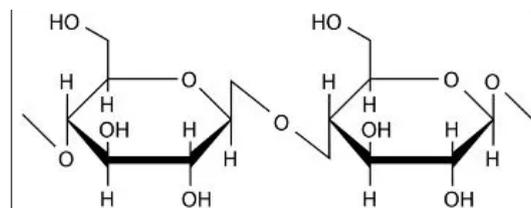


Figura 2- Fórmula estrutural da celulose

Tabela 1- Composição química média das fibras de algodão

Composição	Valor (%)
Celulose	88 – 96,5
Pectinas	0,4 – 1,2
Ceras naturais	0,4 – 1,2
Cinzas	0,7 – 1,6
Proteínas	1,0 – 1,9
Outros compostos orgânicos	0,5 – 8,0

2.2. Preparação ou tratamento prévio

Tal como referido anteriormente, as fibras de algodão, no seu estado cru, possuem impurezas, naturais ou adicionadas no decorrer do processamento têxtil, que dificultam a realização de processos posteriores e que por isso necessitam de ser extraídas. São exemplos de impurezas naturais as ceras, gorduras, pectinas e os corantes naturais (Santos, 2005). Relativamente às impurezas artificiais, estas podem ser adicionadas de forma voluntária sob a forma de lubrificantes, com o objetivo de facilitar as operações de fiação, tecelagem e tricotagem, ou de forma involuntária, por exemplo através do contacto com zonas da máquina contaminadas.

O tratamento prévio pode ser descrito como um conjunto de operações, cujo objetivo consiste na remoção das impurezas presentes nas fibras têxteis, com a finalidade de lhe conferir um conjunto de características, como uma melhor hidrofiliabilidade e grau de branco, que permitirá incrementar a eficácia dos processos posteriores de tinturaria, estamparia e acabamentos (Textextile, 2022). Neste sentido, os processos de tratamento prévio são imprescindíveis, uma vez que, além de garantirem uma adequada remoção das impurezas, contribuem para a correta realização das operações posteriores (Araújo, 2019).

2.2.1. Operações de tratamento prévio

O tratamento prévio do algodão compreende um conjunto de várias operações, de entre as quais se destacam a gasagem, a descolagem, a fervura alcalina, a mercerização e o branqueamento. (Gonçalves M. E., 2019)

- **Gasagem** – processo que possibilita a eliminação das fibras soltas presentes nos artigos têxteis, através da passagem a alta velocidade (50-300m/min) dos substratos sobre uma chama;
- **Descolagem** – processo que permite a remoção dos encolantes aplicados em processos anteriores, mais especificamente na tecelagem, com intuito de dotar os fios com maior resistência, reduzindo o número de quebras durante o processamento. A sua posterior remoção contribui, de forma significativa, para uma melhoria da hidrofiliabilidade do material, facilitando a penetração dos produtos químicos e corantes aplicados nas operações posteriores. A descolagem pode ser realizada por vários processos, nomeadamente por via enzimática, oxidativa, por hidrólise ácida e por putrefação; (Lima, 2016)
- **Fervura alcalina** – processo que possibilita a eliminação de impurezas, como as gorduras, ceras e pectinas, conferindo ao material têxtil uma maior hidrofiliabilidade;
- **Mercerização** – processo que possibilita uma melhoria no brilho, rendimento colorístico, resistência mecânica e estabilidade dimensional dos substratos têxteis, através da realização de um tratamento com uma solução fortemente alcalina (300 g/L de hidróxido de sódio), com o material sob tensão;
- **Caustificação** - processo semelhante à mercerização, utilizando, contudo, soluções menos concentradas de NaOH (180g/L) e sem tensão aplicada sobre o material, tendo como principal objetivo melhorar o rendimento colorístico e a estabilidade dimensional dos materiais tratados;
- **Branqueamento** – processo que proporciona a remoção do corante natural das fibras e a destruição das cascas e das sementes não removidas em processos anteriores. A intensidade do tratamento depende diretamente do grau de branco pretendido, ou seja, se é pretendido um artigo com um grau de branco muito elevado pode ser necessária a realização de vários tratamentos em sequência. Porém, se o substrato se destinar a ser tingido, apenas é necessária a realização de um tratamento menos intenso, designado por “meia branqueação”, que combina as operações de fervura alcalina e branqueamento numa única etapa (Costa, 2014).

2.3. Corantes

Os corantes são compostos orgânicos que possuem capacidade de conferir cor a um determinado substrato, e garantir que a mesma apresenta bons níveis de solidez aos diferentes agentes a que o substrato vai ser exposto ao longo da sua vida útil, mais especificamente, à luz, à lavagem, à fricção, aos tratamentos com cloro, entre outros (Vilela, 2018). Além disso, devem não só, apresentar solubilidade (permanente ou no decorrer do tingimento) no meio de aplicação, mas também possuir a capacidade de serem absorvidos e retidos no interior da fibra, e eventualmente, de estabelecer ligações químicas com as mesmas (Gomes J. I., 2019).

Os corantes são substâncias capazes de serem absorvidos pelas fibras de um determinado substrato têxtil, reagindo ou não com este, durante o processo de tingimento. A fixação das moléculas de corante a uma determinada fibra, envolve quatro tipos de interações principais: interações iônicas, interações por pontes de hidrogénio, ligações de *Van der Waals* e ligações covalentes (Gomes J. I., 2019). Este tipo de compostos, podem ser classificados de várias formas, nomeadamente através da sua estrutura química, métodos de aplicação, processo de obtenção ou origem, entre outros, como exemplificado na Tabela 2. (Adrade, 2021)

Tabela 2- Tipos de classificação de corantes (Castro, 2019)

Tipo de classificação			
Origem			
Naturais		Sintéticos	
Estrutura química			
Azo	Antraquinónicos	Ftalocianina	di- e tri-arilmetano
Métodos de aplicação			
Ácidos	Azóicos	Reativos	Sulfurosos
Sulfurosos	Diretos	Cuba	Dispersos
A mordente	Complexo metálico	Sulfurosos	Diretos

2.3.1. Corantes Reativos

Em 1955, Rattee e Stephen, elaboraram pela primeira vez um processo de tingimento de fibras celulósicas com corantes que possuíam na sua estrutura grupos diclorotriazina, capazes de formar ligações covalentes com as fibras celulósicas. Porém, para que este tipo de ligação se estabeleça, é necessário que a solução de tingimento apresente um pH alcalino, de forma a permitir a ionização dos grupos hidroxilo presentes na celulose, através dos quais se estabelecem as ligações covalentes com o grupo reativo do corante (Broadbent, 2001). Além disso, o uso de álcalis auxilia na neutralização do ácido formado ao longo da reação. (Ferreira I. L., 2019)

Os corantes reativos caracterizam-se não apenas pela sua paleta de cores e brilho, mas sobretudo pelos elevados níveis de solidez à lavagem, quando comparados com os corantes diretos, sendo atualmente a classe de corantes predominante no tingimento de fibras celulósicas (Broadbent, 2001) (Ferreira A. S., 2019). A Figura 3 apresenta o mecanismo de reação entre um corante reativo monoclorotriazina e a celulose presente nas fibras de algodão.

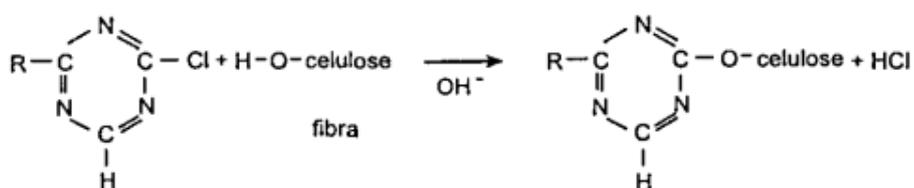
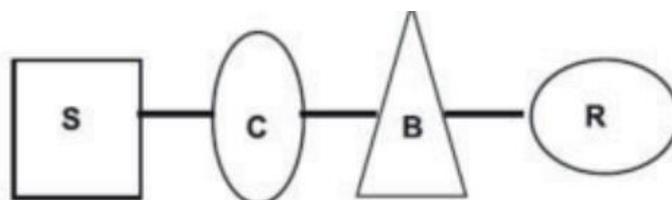


Figura 3- Mecanismos de reação de um corante reativo monoclorotriazina com a celulose (Boaventura, 2018)

2.3.1.1. Estrutura dos corantes reativos

No que concerne à sua estrutura, são normalmente constituídos por um ou mais grupos reativos, por grupos solubilizantes, pelo grupo de ligação e pelo cromogéneo, tal como representado na Figura 4 (Boaventura, 2018) (Castro, 2019).



onde,

- S – Grupos solubilizantes.
- C – Grupo cromóforo.
- B – Grupo de ligação.
- R – Grupo reativo.

Figura 4- Representação esquemática da estrutura dos corantes reativos

O cromogéneo é composto pelo cromóforo e auxocromos, sendo os cromóforos sistemas conjugados capazes de absorver energia na região visível do espectro eletromagnético e os auxocromos, grupos substituintes, presentes no anel aromático, que contribuem a deslocalização de elétrões, através da transferência dos mesmos por efeito mesomérico, sendo por isso considerados dadores de elétrões. Neste sentido, os cromóforos são as estruturas responsáveis por conferir cor a um determinado substrato, enquanto os auxocromos permitem intensificar a ação dos cromóforos.

Por sua vez, os grupos solubilizantes (ex: grupo sulfônicos), permitem a dissolução do corante em água. Normalmente estes grupos estão localizados no cromogéneo do corante. (Ferreira A. S., 2019).

Tal como a própria designação indica, estes corantes apresentam um ou mais grupos reativos que permitem a reação química com as fibras, através da formação de ligações covalentes (Castro, 2019). A ligação do grupo cromogéneo do corante ao grupo reativo ocorre através do grupo de ligação, sendo este normalmente um grupo amina (-NH-).

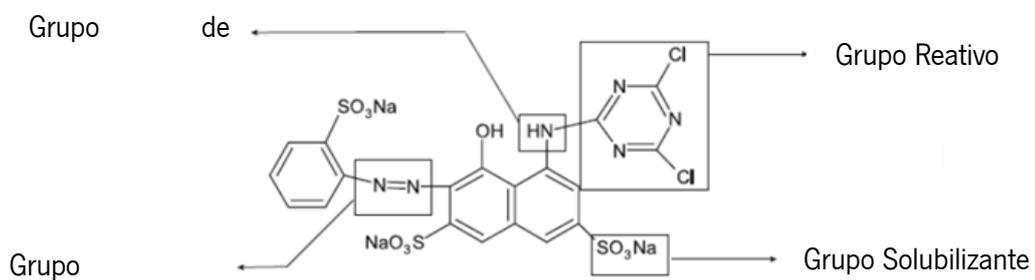


Figura 5- Constituição de um corante reativo

2.3.1.2. Corantes reativos monofuncionais, bifuncionais e polifuncionais

Atualmente, existem vários tipos de corantes reativos, nomeadamente os corantes reativos monofuncionais, bifuncionais e polifuncionais, distinguindo-se entre si pela quantidade de grupos reativos que apresentam na sua constituição.

A existência de mais de um grupo reativo na constituição de um corante reativo, potencia o aumento do rendimento da reação de fixação do corante nas fibras, uma vez que, caso um dos grupos reativos hidrolise, e conseqüentemente fique inativo, existe a possibilidade de um outro grupo reativo reagir com a fibra, aumentando o número de moléculas de corante que se ligam covalentemente às fibras, e como tal, o rendimento da reação de fixação. Além disso, a quantidade de corante não fixado nas fibras no final do processo será significativamente reduzida, sendo necessário um menor número de lavagens finais o que contribui de forma bastante significativa, para uma redução do consumo de água e energia e conseqüentemente para a redução do impacto ambiental do processo.

Posto isto, os corantes reativos monofuncionais caracterizam-se por apresentarem na sua constituição apenas um grupo reativo, enquanto os bifuncionais possuem dois grupos reativos. Assim, conforme o tipo de grupos reativos presentes na molécula de um corante bifuncional, estes podem ser classificados como homobifuncionais quando possuem dois grupos reativos iguais ou heterobifuncionais, quando possuem dois grupos reativos diferentes tal como representado na Tabela 3.

Tabela 3- Classificação dos corantes bifuncionais

Corantes reativos homobifuncionais	
Bis (Monoclorotriazina)	Bis (Vinilsulfonico)
Bis (Aminonicotinotriazina)	
Corantes reativos heterobifuncionais	
Vinilsulfonico/Monofluortriazina	Vinilsulfonico/Monoclorotriazina
Vinilsulfonico/Aminoclorotriazina	Vinilsulfonico/Aminofluortriazina

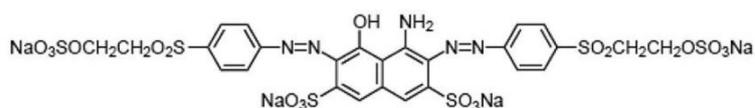
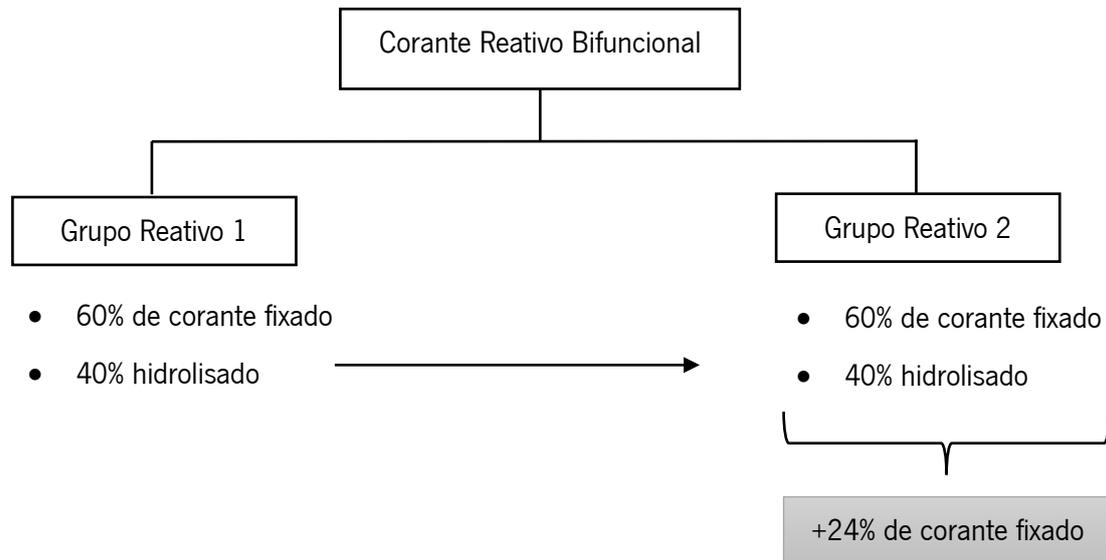


Figura 6- Estrutura química de um corante reativo homobifuncional

Assumindo uma probabilidade de 60% de os grupos reativos reagirem com a fibra, e assumindo que a hidrólise do primeiro grupo reativo não altera a reatividade do segundo grupo reativo, a probabilidade de fixação de um determinado corante bifuncional nas fibras seria de 84%, contra 60% caso se tratasse de um corante monofuncional com o mesmo tipo de grupo reativo, tal como representado no Esquema 2 (Gonçalves R. A., 2017).



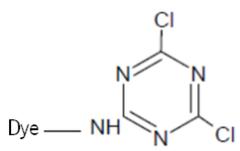
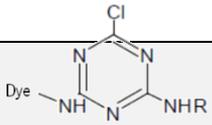
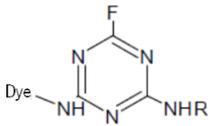
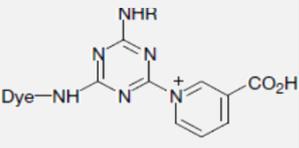
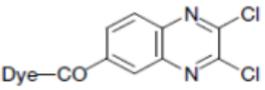
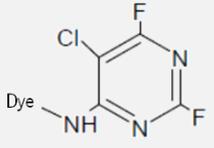
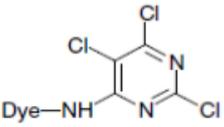
Esquema 2- Representação esquemática da probabilidade de fixação de um corante reativo bifuncional

Os corantes reativos polifuncionais diferenciam-se dos restantes por apresentarem mais do que dois grupos reativos por molécula de corante, aumentando, assim a probabilidade de estabelecerem ligações covalentes com as fibras (Castro, 2019) (Gonçalves R. A., 2017). Teoricamente a incorporação de mais de dois grupos reativos na molécula de corante, deve promover a eficiência de fixação, contudo esses grupos reativos adicionais podem ter um impacto contraditório, dado que, alteram o tamanho molecular, a extensão e a reatividade, influenciando, desta forma, propriedades importantes do tingimento, como a substantividade e a migração (Gonçalves R. A., 2017) (Beltrame, 2006). Neste sentido, a formulação dos corantes reativos polifuncionais deve ser realizada através de uma cuidadosa combinação de grupos reativos, a fim de promover um aumento do estabelecimento de ligações covalentes corante-fibra.

2.3.1.3. Principais grupos reativos

A Tabela 4, apresenta de forma sucinta os principais grupos reativos que podem ser encontrados nesta classe de corantes, a sua estrutura química e algumas observações em relação às suas condições de aplicação.

Tabela 4- Principais grupos reativos (Antunes, 2019) (Castro, 2019)

Grupo Reativo	Estrutura química	
Diclorotriazina (DCT)		Grupo bastante reativo, permitindo estabelecer ligações com as fibras celulósicas a baixas temperaturas (20-40°C). Os corantes possuidores deste grupo reativo, são frequentemente constituídos por cromóforos de pequenas dimensões, para facilitar a difusão na fibra na fase de esgotamento.
Monoclorotriazina (MCT)		Grupo reativo que necessita de condições reacionais mais energéticas, permitindo estabelecer ligações com as fibras a temperaturas na ordem de 80°C.
Monofluortriazina (MFT)		Grupo moderadamente reativo, necessitando de temperaturas de 40 a 60°C para reagirem com a fibra. Comparativamente ao grupo MCT é mais reativo, uma vez que, a eletronegatividade do fluor é superior à do cloro.
Nicotiniltriazina (NT)		Os corantes constituídos pelo grupo NT, possuem uma reatividade moderada a alta, necessitando de temperaturas na ordem dos 100-130°C, sendo, no entanto, capazes de reagir a pH neutro.
Dicloroquinoxalina (DCQ)		Grupo bastante reativo, necessita de temperaturas de tingimento na ordem de 50-70°C. Os corantes que possuem este grupo reativo são bastante vulneráveis a radiações luminosas e térmicas.
Difluorcloropirimidina (DFCP)		A ligação corante-fibra é mais estável em condições ácidas quando comparada com a dos corantes que contêm o sistema diclorotriazina, porém são mais sensíveis à degradação oxidativa. A sua temperatura de tingimento é de cerca de 50°C.
Tricloropirimidina (TCP)		Os corantes constituídos pelo grupo TCP, possuem temperaturas de tingimento na ordem dos 95°C. A estabilidade da ligação corante-fibra é, no entanto, superior à dos corantes com anel triazina.
Vinilsulfónicos (VS)		A substantividade dos corantes que possuem este grupo reativo é inferior à dos corantes que contêm sistemas reativos heterocíclicos, sendo também mais vulneráveis a meios alcalinos. A sua temperatura de aplicação é de cerca de 60°C.

2.3.1.4. Reação química entre os corantes reativos e as fibras de algodão

Os corantes reativos são caracterizados por serem os únicos com capacidade de estabelecer ligações covalentes com as fibras, proporcionando a obtenção de excelentes níveis de solidez aos tratamentos a húmido. As ligações covalentes (corante-fibra), são obtidas através de mecanismos de reação de substituição nucleofílica (Figura 8) ou de adição nucleofílica (Figura 7) (Castro, 2019).

Normalmente, são adicionados produtos alcalinos ao banho de tingimento que desprotonam os grupos hidroxilos da celulose, originando grupos bastante mais reativos (aniões celulosato), sendo que estes apresentam uma maior capacidade para reagir com o corante.

Os corantes reativos que possuem o grupo reativo vinilsulfónico, fazem parte do grupo de corantes que reagem por adição nucleofílica (Gonçalves A. S., 2020). Estes corantes são misturados, no banho de tingimento, com produtos alcalinos, que promovem uma reação de eliminação no corante, ou seja, ocorre a libertação de um grupo sulfonato, seguida da formação de uma ligação dupla. A dupla ligação carbono-carbono é polarizada pelo grupo eletrofílico sulfonilo, conferindo um caráter positivo ao carbono terminal, favorecendo assim a adição nucleofílica do anião celulosato (Castro, 2019) (Koh, 2011).

A Figura 7 exemplifica o mecanismo de adição nucleofílica entre um corante vinilsulfónico e a celulose.

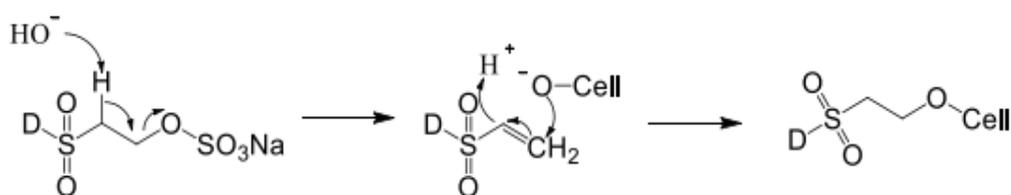


Figura 7- Mecanismo de adição nucleofílica entre um corante vinilsulfónico e a celulose

Por sua vez, os corantes que possuem grupos diclorotriazina, monoclorotriazina, monofluortriazina, dicloroquinoxalina, difluorcloropirimidina e tricloropirimidina reagem com a celulose através de mecanismos de substituição nucleofílica (Gonçalves A. S., 2020). Todos estes grupos reativos são constituídos por anéis heterocíclicos aromáticos que contêm para além de átomos de azoto, substituintes halogenados. Estes, devido à sua eletronegatividade atraem os eletrões, fazendo com que o carbono ao qual se encontram ligados adquira carga positiva, facilitando o ataque nucleofílico do grupo hidroxilo da fibra de celulose, previamente desprotonado, formando-se uma ligação covalente entre o corante e a fibra (Gonçalves P. D., 2018) (Koh, 2011). A Figura 8 exemplifica o mecanismo de substituição nucleofílica entre um corante reativo diclorotriazina e a celulose.

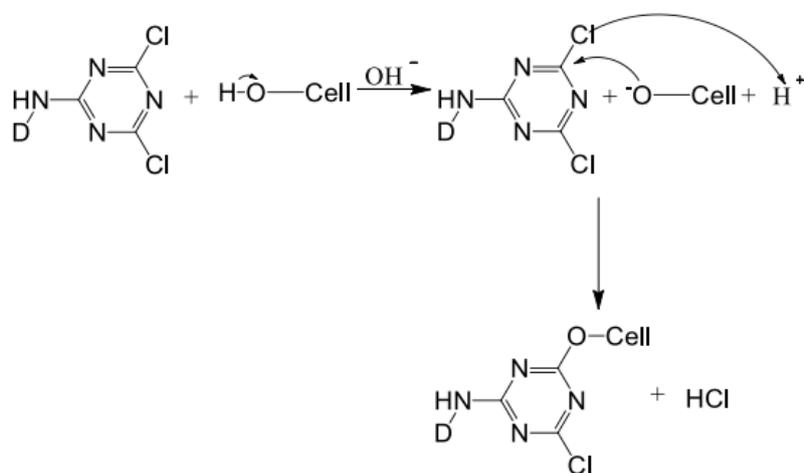


Figura 8- Mecanismo de substituição nucleofílica entre um corante reativo diclorotriazina e a celulose

2.3.1.5. Reação química entre os corantes reativos e a água

Além da reação do corante com a fibra, durante um processo de tingimento podem ocorrer reações secundárias, nomeadamente, entre o corante e a água, originando o corante hidrolisado. Esta reação é bastante semelhante à reação corante-fibra, porém, neste caso, o corante vai reagir com o íon hidroxilo presente nas moléculas de água (ao invés de reagir com a celulose), desativando o grupo reativo do corante e impossibilitando o estabelecimento de ligações covalentes com a fibra, uma vez que, o corante hidrolisado não apresenta capacidade para reagir com a celulose. (Amorim, Silva, Corrêa, & Torres, 2012)

O resultado destas reações, tal como referido anteriormente, corresponde ao corante hidrolisado que é apenas capaz de estabelecer ligações *Van der Waals* e pontes de hidrogénio com a fibra, sendo estas ligações bastante mais fracas que as ligações covalentes. Por essa razão, o corante apresenta uma

maior facilidade em abandonar a fibra, no decorrer de tratamentos em meio húmido e consequentemente os artigos tingidos apresentarão uma menor solidez à lavagem, o que torna obrigatório, após a conclusão do processo de tingimento, a realização de lavagens intensivas, com o objetivo de remover todo o corante hidrolisado presente nas fibras (Antunes, 2019).

A reação química entre o corante e a molécula de água encontra-se esquematizada na Figura 9.

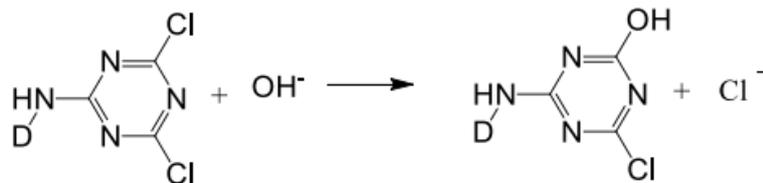


Figura 9- Reação química entre o grupo reativo diclorotriazina e a água

2.4. Tingimento

O tingimento de substratos têxteis é um processo bastante antigo. Inicialmente, utilizavam-se matérias corantes naturais como plantas e posteriormente, corantes sintetizados por meio de reações químicas (Salem, 2010). O processo de tingimento consiste em conferir uma determinada cor, de forma uniforme, a um substrato e garantir que essa cor apresenta bons níveis de solidez aos diferentes agentes a que o substrato vai ser exposto, durante a sua utilização. (Koh, 2011)

De um modo geral, o processo de tingimento ocorre em três etapas. Numa primeira etapa ocorre a difusão do corante na solução de tingimento, até à superfície do substrato, seguidamente ocorre a adsorção das moléculas de corante na superfície da fibra, terminando o processo com a difusão do corante da superfície para o interior da fibra (Sousa, 2016). Nos corantes reativos, pode ser considerada uma etapa adicional, dado que, ocorre uma reação química que possibilita a formação de ligações covalentes entre o corante e a fibra.

No que se refere ao processo de aplicação, atualmente, a nível industrial utilizam-se duas técnicas de tingimento, mais especificamente o **tingimento por esgotamento** e o **tingimento por impregnação**.

2.4.1. Tingimento por esgotamento

Nos processos de tingimento por esgotamento, o substrato permanece em contacto com a totalidade da solução de tingimento durante todo o processo, devendo ocorrer um controlo rigoroso de diversos fatores, como o pH, agitação, temperatura e concentração de reagentes, para se obter resultados uniformes. Nesta técnica, o corante é dissolvido numa solução aquosa a partir da qual difunde para a superfície da fibra, sendo esse processo facilitado pelo movimento do próprio banho e/ou pelo movimento do substrato a ser tingido. O corante é então adsorvido e posteriormente difunde para o interior da fibra, estabelecendo com ela ligações cujo tipo depende da classe de corante utilizada (Ribeiro, 2013).

2.4.2. Tingimento por impregnação

Na técnica de tingimento por impregnação, o material em movimento é impregnado com a solução de tratamento, num balseiro de reduzido volume, situando-se o tempo de contacto do material com a solução na ordem de 0.5 - 1 s. O balseiro deve possuir um dispositivo de regulação de nível, com o intuito de proporcionar uma alimentação e renovação constante do banho, compensando o volume de solução absorvido pelo substrato e reduzindo a probabilidade de ocorrência de fenómenos de esgotamento.

De seguida, o material passa por dois rolos espremedores, os quais, através da pressão exercida, distribuem a solução de forma uniforme pelo material, forçando-a a penetrar profundamente nas fibras e removendo o excesso de solução absorvida (Gonçalves P. D., 2018). Posteriormente, segue-se a fase de fixação do corante, que pode ser realizada de diversas formas, dando origem a processos contínuos ou semi-contínuos.

2.4.2.1. Processos semi-contínuos

Tabela 5- Processos de tingimento semi-contínuos

Processos semi -contínuos	
Pad-Batch	Neste processo, após a impregnação, o substrato têxtil é enrolado num suporte específico, permanecendo em repouso, à temperatura ambiente, durante um período mais ou menos prolongado, dependendo da reatividade do corante. O substrato enrolado, deve movimentar-se lentamente, com o intuito de evitar uma possível migração do corante, por ação da gravidade, para o fundo do rolo. (Gomes J.)

Pad-Roll	Processo utilizado para gamas de corantes que não reagem a frio. O processo distingue-se do <i>Pad-Batch</i> pelo facto do período de maturação ocorrer numa câmara aquecida, à temperatura adequada à reação do corante (Gomes J.).
Pad-Jig	Método bastante utilizado para tingimentos com corante de cuba. Neste processo a fixação do corante é desenvolvida em <i>Jigger</i> (Gomes J.).

2.4.2.2. Processos em contínuo

Tabela 6- Processos de tingimento em contínuo

Processos em contínuo	
Pad-Dry	Neste processo, o substrato depois de impregnado é submetido ao processo de secagem e fixação do corante. Para isso, o substrato é deslocado até uma estufa com ventilação de ar quente ou cilindros aquecidos (Gomes J.).
Pad-Steam	Neste processo, o substrato após impregnação, é submetido ao processo de maturação por vaporização (Gomes J.)

2.4.2.3. Taxa de expressão

A pressão exercida pelos rolos espremedores no substrato têxtil está diretamente relacionada com taxa de expressão aplicada (TE), sendo esta definida da seguinte forma:

$$TE = \frac{\text{peso substrato húmido} - \text{peso substrato seco}}{\text{peso do substrato seco}} \times 100 \quad [1]$$

Tal como referido anteriormente, a taxa de expressão é influenciada não só pela pressão aplicada, mas também pela estrutura e composição do substrato, velocidade de impregnação, temperatura, composição do banho de impregnação, diâmetro dos rolos, dureza dos revestimentos, etc. sendo de extrema importância controlar rigorosamente estes fatores, para garantir um tingimento de qualidade. (Gomes J. I., 2019)

2.4.3. Principais variáveis do processo de tingimento por impregnação de fibras celulósicas com corantes reativos

Existem diversos fatores que possuem uma influência direta no processo de tingimento, sendo necessário realizar um controle rigoroso dos mesmos para garantir resultados de qualidade. Neste sentido, os fatores que afetam a qualidade do tingimento são:

- **Tipo de substrato** - O tipo de artigo têxtil possui influência direta no tingimento, uma vez que os corantes apresentam afinidade diferenciada para as diferentes fibras, fator que condiciona a quantidade de corante que é absorvida pelo material.
- **Construção do substrato** – A construção do substrato, ou seja, o debuxo, influencia diretamente a cor obtida, uma vez que, o tipo de estrutura condiciona a taxa de absorção do substrato e conseqüentemente a cor obtida.
- **Hidrofilidade** – A hidrofilidade do substrato é um fator determinante para a obtenção de um tingimento de qualidade, uma vez que, quanto mais hidrofílico for o substrato maior será a taxa de absorção do banho de tingimento.
- **Teor de humidade do substrato** – É de extrema importância garantir que todo o substrato que se pretende tingir esteja uniformemente seco, dado que, a presença de humidade pode provocar o aparecimento de manchamentos no tingimento.
- **Afinidade dos corantes** – Os corantes utilizados no tingimento por impregnação devem possuir reduzida afinidade, de forma a diminuir a probabilidade da ocorrência de efeitos degradé entre o início e o fim da peça, sendo que esta propriedade facilita também a remoção do corante hidrolisado, no decorrer das lavagens finais.
- **Temperatura de tingimento** - A reatividade do corante varia diretamente com a temperatura de tingimento. Neste sentido, quanto mais reativo for o corante, menores são as temperaturas de tingimento utilizadas.
- **pH** - O pH é um fator que deve ser rigorosamente controlado, uma vez que, o tingimento com corantes reativos ocorre a um pH alcalino, sendo essas as condições indispensáveis à formação de ligações covalentes entre o corante e a fibra. Deve, no entanto, minimizar-se o risco de hidrólise do corante, razão pela qual o corante e o agente alcalino apenas são misturados no balseiro do *foulard*.

2.5. Colorimetria

A cor não é uma propriedade intrínseca de um determinado objeto, encontrando-se a forma como a percebemos dependente essencialmente de 3 fatores: fonte luminosa, objeto e observador (Figura 10). Quando se trata de um substrato tingido, parte da luz que incide sobre o material é absorvida não só pelas fibras, mas também pelo corante, sendo a restante refletida, percebida pelo olho humano e interpretada pelo cérebro, estimulando a sensação designada como cor do material. (Santos, 2005)

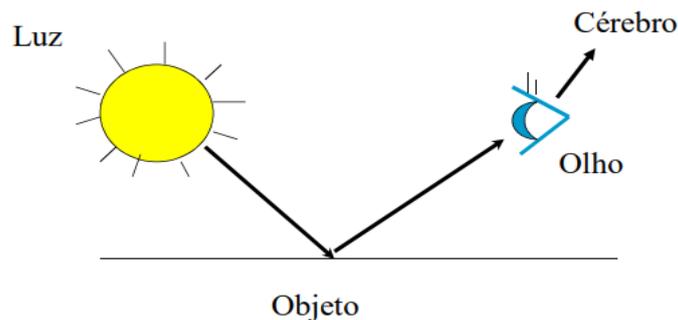


Figura 10- Representação da percepção da cor pelo ser humano

Até aos anos 50 a avaliação da cor era efetuada de forma subjetiva, a olho nu, porém a evolução tecnológica proporcionou o aparecimento de sistemas colorimétricos, possibilitando uma avaliação objetiva da cor.

2.5.1. Espaço Colorimétrico CIELab

Em 1976, a CIE - *Commission Internationale d'Eclairage* – desenvolveu um espaço colorimétrico que permite descrever de forma objetiva todas as cores visíveis ao olho humano.

Este sistema de cores baseia-se numa representação cartesiana sequencial ou contínua de 3 eixos ortogonais: L^* (eixo da luminosidade), a^* (eixo vermelho - verde) e b^* (eixo amarelo - azul), tal como representado na Figura 11. Além disso, o espaço CIELab permite definir as coordenadas cromáticas como: $+a^*$ para vermelho $-a^*$ para verde, $+b^*$ para amarelo $-b^*$ para azul, o eixo L^* representa a luminosidade variando de 0 para preto absoluto e 100 para branco total. (Antunes, 2019) (Costa, 2014)

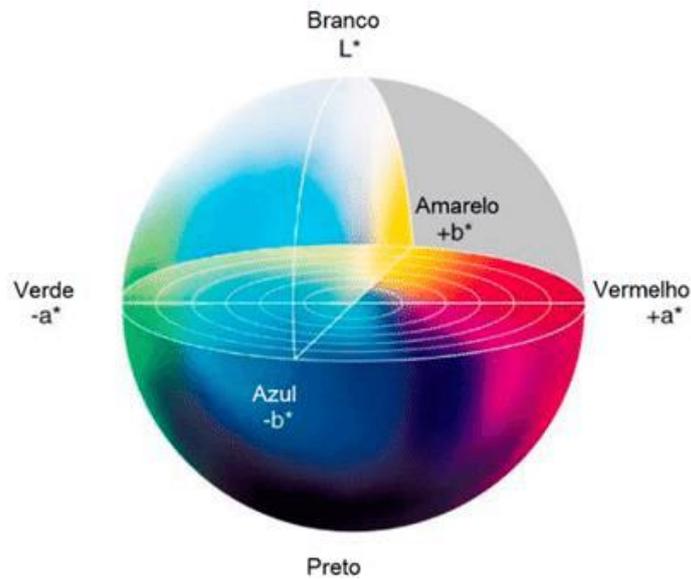


Figura 11- Sistema de coordenadas CIELab

Quando se pretende comparar a cor de duas amostras, o conhecimento dos valores de L^* , a^* e b^* , de cada amostra, possibilitam o cálculo da diferença de cor entre elas, ΔE , através da **equação 2**.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad [2]$$

onde,

$$\Delta L = L^* amostra - L^* padrão$$

$$\Delta a = a^* amostra - a^* padrão$$

$$\Delta b = b^* amostra - b^* padrão$$

O valor ideal de diferença de cor entre um padrão e a sua reprodução seria 0, ou seja, $\Delta E=0$. No entanto, industrialmente a obtenção desse valor não é possível, dadas todas as limitações envolvidas no processo de tingimento. Por este motivo, na generalidade das situações procura-se obter valores de $\Delta E < 1$.

3. Materiais e Métodos

No presente capítulo descreve-se os materiais utilizados, tanto no que diz respeito aos substratos têxteis quanto aos reagentes aplicados. Além disso, tem ainda como intuito descrever os métodos utilizados, onde se compreendem as receitas testadas, os processos utilizados e também os métodos aplicados na avaliação da coloração dos substratos.

3.1. Materiais

No desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado um tecido fornecido pela empresa Têxteis J. F. A S.A. O tecido 100% algodão possuía como debuxo um tafetá, sendo constituído por fios 30/1 Ne. Apresenta um peso por unidade de superfície de 120g/m² e possui uma contextura com 31 fios por centímetro à teia e 30 fios por centímetro à trama.

Tabela 7- Ficha técnica do tecido utilizado

Características	Amostra
Composição	100%CO
Estrutura têxtil	Tecido
Contextura(fios/cm)	31X30
Peso por unidade de superfície g/m ²)	120g/m ²
Debuxo	Tafetá
Fornecedor	Têxteis J. F. Almeida S.A

Os reagentes utilizados no desenvolvimento dos ensaios realizados encontram-se descritos na Tabela 8, sendo todos eles sido fornecidos pela Têxteis J. F. Almeida.

Tabela 8- Reagentes utilizados no desenvolvimento do estudo

	Reagentes	Função	Fornecedor
Corantes	Remazol Ultra Yellow RGBN	Corante	DyStar
	Remazol Red RGB	Corante	DyStar
	Remazol Ultra Red RGB	Corante	DyStar
	Remazol Navy RGB	Corante	DyStar
	Blue Corazol RD	Corante	Colourtex
	Everzol Yellow LX	Corante	Everlight Chemical
	Everzol Red LFB	Corante	Everlight Chemical
	Everzol Red LX	Corante	Everlight Chemical
	Everzol Blue Lx	Corante	Everlight Chemical
	Levafix Yellow CA	Corante	DyStar
	Levafix Amber CA-N	Corante	DyStar
	Levafix Red CA	Corante	DyStar
	Levafix Blue CA	Corante	DyStar
	Auxiliares de tingimento	Carbonato de Sódio	Agente alcalino
Hidróxido de Sódio 50%		Agente alcalino	RNM
Sera Wet		Molhante	DyStar
Ácido acético		Neutralização do substrato	RNM
Kemic Wash RS		Detergente	Adi
Rucogen WBL		Detergente	Rudolf
Produtos de acabamento	Ceralube SVN liq	Amaciador não iônico, anfotérico	Archroma
	Solusoft NMW liq c	Microemulsão de silicone	Archroma
	Arkofix NZF New liq	Agente de reticulação (resina) isento de formaldeído.	Archroma
	Fixapret ELF liq c	Agente de reticulação (resina) com baixo teor de formaldeído.	Archroma
	Catalisador NKD liq	Dador de ácido para reticulação de resinas reativas.	Archroma

3.2. Métodos

3.2.1. Processo de tingimento

Para proceder à avaliação da alteração de cor após acabamentos com resinas, foi necessário, numa fase inicial, proceder ao tingimento do material têxtil selecionado com as gamas de corantes que se pretendem analisar, através de processos de impregnação. Assim, todas as amostras foram tingidas utilizando uma taxa de espessão de 82%, com uma pressão de 2 bar, a uma velocidade de 2 metros por minuto.

As amostras foram tingidas à escala laboratorial, com os corantes selecionados aplicados isoladamente e em misturas, seguindo a receita base apresentada na Tabela 9. A concentração de auxiliares, varia consoante a gama e a concentração de corante utilizada, estando definidas na Fig 27 do Anexo III.

Tabela 9- Receita base para o tingimento de corantes isoladamente ou em tricromia

Reagentes	Concentração (g/l)	
	Receita 1	Receita2
Levafix Amber CA-N	—————	0,65
Levafix Red CA	—————	0,30
Levafix Blue CA	10	2,63
Sera Wet	2	2
Carbonato de sódio	20	20
Hidróxido de Sódio 50%	1	0,5

Após a impregnação, o tecido foi enrolado em contínuo, permanecendo de seguida nesse estado por um período entre 12h a 24h, conforme as recomendações do fornecedor. Em seguida, as amostras tingidas foram enxaguadas com água corrente e neutralizadas numa solução com 0,5g/L de ácido acético, sendo posteriormente ensaboadas à fervura durante 15 minutos com uma solução de 1g/L de *Kemic Wash Rs*. Posto isto, as amostras foram centrifugadas, para remoção do excesso de água e finalmente secas, em râmola, à temperatura de 100°C durante 2 minutos.

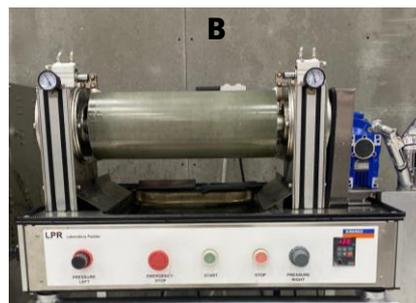


Figura 12- Râmola de laboratório *Mesdan* (A) e Foulard de laboratório *Benninger* (B) utilizados neste estudo

Fonte: Própria

3.2.2.Acabamento com resinas

Após o tingimento, com intuito de analisar a alteração de cor após acabamento com resinas, as amostras foram sujeitas a dois acabamentos distintos (receita 1 e 2), com as composições descritas na tabela 10. Estes acabamentos foram aplicados em *foulard*, utilizando uma taxa de expressão de 80%, com uma pressão de 2 bar e uma velocidade de 2 metros por minuto.

As propriedades dos reagentes envolvidos no processo de acabamento estão detalhadas na Tabela 19 e 20 dos Anexos I e II respectivamente.

Tabela 10- Receita base para formulação dos diferentes acabamentos

Reagentes	Concentração (g/L)	
	Receita 1 (Acabamento Gots)	Receita2 (Acabamento Não Gots)
Ceralube SVN liq	20	18
Solusoft NMW liq c	10	7
Arkofix NZF New liq	65	—————
Fixapret ELF liq c	—————	27
Catalisador NKD liq	8	9

3.2.3.Avaliação da alteração de cor

Para avaliar a alteração de cor produzida após a realização do acabamento com resinas, foram realizadas leituras num espectrofotômetro X-Rite CI 7000, utilizando como fonte luminosa o iluminante D65 e utilizando uma função do observador padrão de 10 graus.

Para efetuar as leituras no espectrofotômetro, as amostras foram dobradas em quatro folhas. Realizaram-se quatro medições para cada amostra, alterando a posição e rodando 90 graus entre cada medição, sendo esta a metodologia aplicada nas medições ao longo de todo o desenvolvimento experimental.

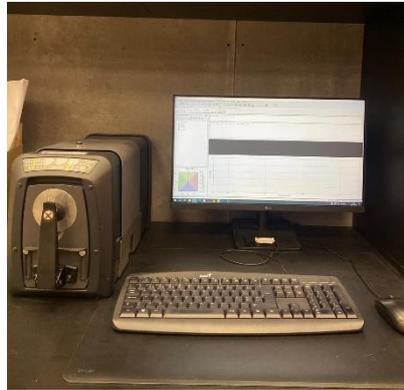


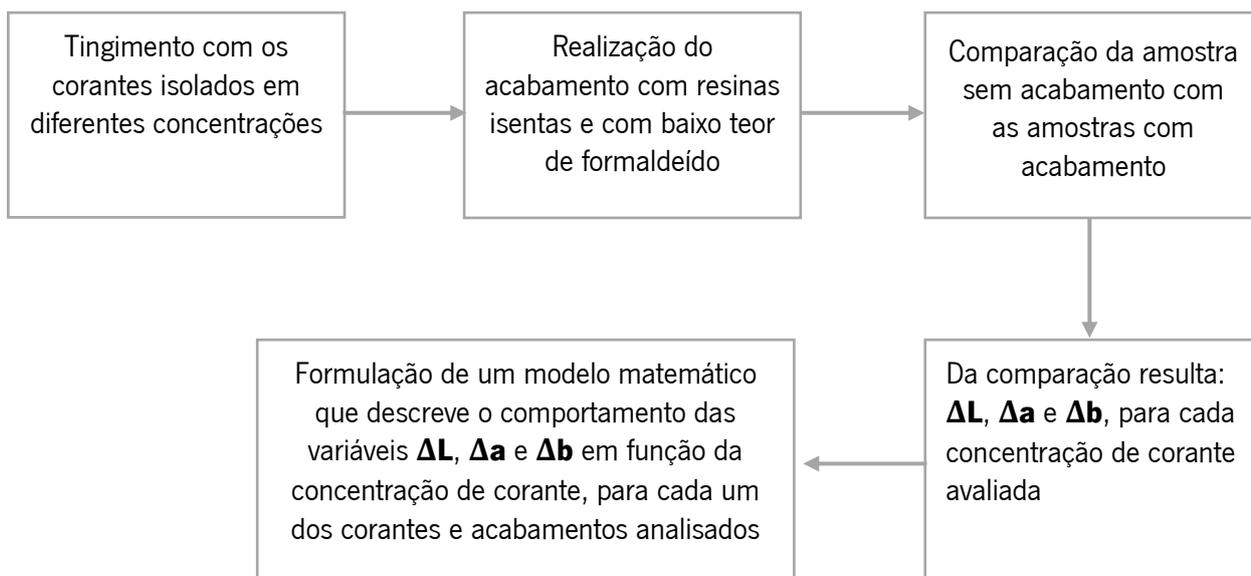
Figura 13- Espectrofotômetro X-Rite CI 7000 utilizado no estudo

Fonte: Própria

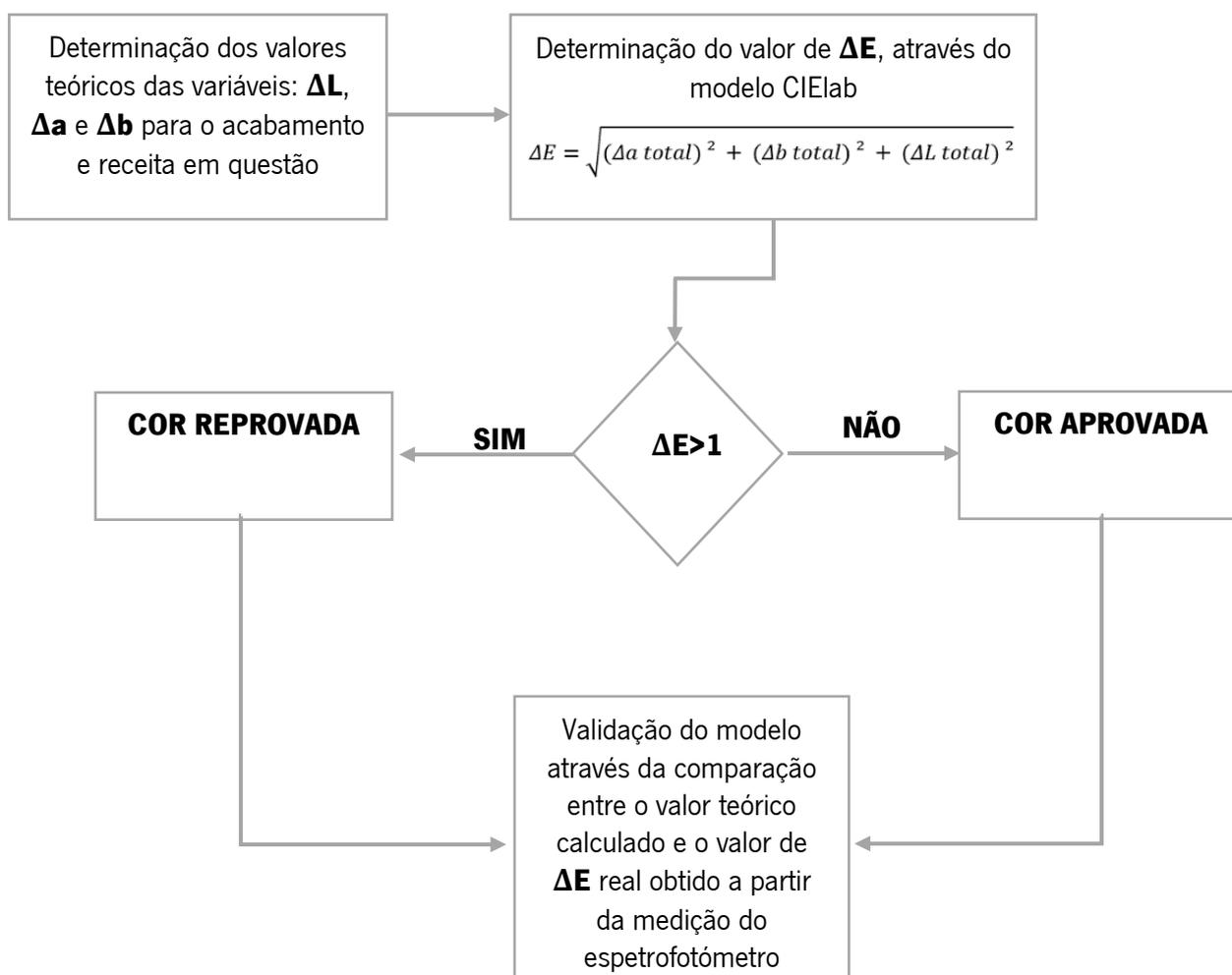
3.2.4. Desenvolvimento de modelos matemáticos para prever a alteração de cor após a realização de acabamentos com resinas.

Após a recolha da informação resultante da realização dos ensaios experimentais, foram formulados gráficos nos quais se fez variar a variação das coordenadas de cor L,a,b em função da concentração de corante aplicado. Posteriormente, foram identificadas linhas de tendência dessas variáveis para cada corante da gama *Levafix CA* que foi analisada e calculados os modelos matemático que melhor se ajustaram aos dados experimentais. Partindo dos modelos desenvolvidos, determinaram-se os valores teóricos de ΔL , Δa , Δb , para cada um dos corantes envolvidos na formulação de novas receitas, calculando-se de seguida o somatório de cada uma dessas variáveis. Com base neste valor, determinaram-se de seguida os valores de ΔE teóricos para novas receitas, os quais foram posteriormente comparados com o valor real obtido experimentalmente, calculando-se os eventuais desvios em relação ao valor real.

A formulação e posterior validação dos modelos matemáticos desenvolvidos encontram-se descritas no esquema 3 e 4 respetivamente.



Esquema 3- Representação esquemática referente à formulação do modelo matemático para prevenção de alteração de cor após acabamentos com resinas



Esquema 4- Representação esquemática referente à validação do modelo matemático para prevenção de alteração de cor após acabamentos com resinas

3.2.5. Metodologia utilizada na análise e estudo da reprodutibilidade entre laboratório e produção

3.2.5.1. Método de recolha das amostras

Para se proceder à análise da reprodutibilidade entre laboratório e produção, foram comparados os ensaios de laboratório aprovados pelo cliente (*labdip*) com as respetivas amostras de produção, avaliando-se a diferença total de cor (ΔE) entre eles. Além disso, na perspetiva de minimizar a origem de eventuais desvios entre a cor obtida no laboratório e na produção, procedeu-se também à realização de comparações adicionais entre outros dois tipos de amostras. As primeiras foram recolhidas após maturação e antes da entrada na máquina de lavar, enquanto as segundas foram retiradas após lavagem e remoção do corante hidrolisado. Ambos os tipos de amostras foram comparadas com os ensaios de laboratório sob as mesmas condições, permitindo avaliar a reprodutibilidade do processo da lavagem dos tintos e das taxas de espessão utilizadas no laboratório e na produção.

3.2.5.2. Método de lavagem das amostras no laboratório

Em contexto laboratorial, as amostras tingidas são enxaguadas com água corrente, neutralizadas com uma solução de 0,5g/L de ácido acético, sendo posteriormente ensaboadas à fervura durante 15 minutos com uma solução de 1g/L de *Kemic Wash Rs*.

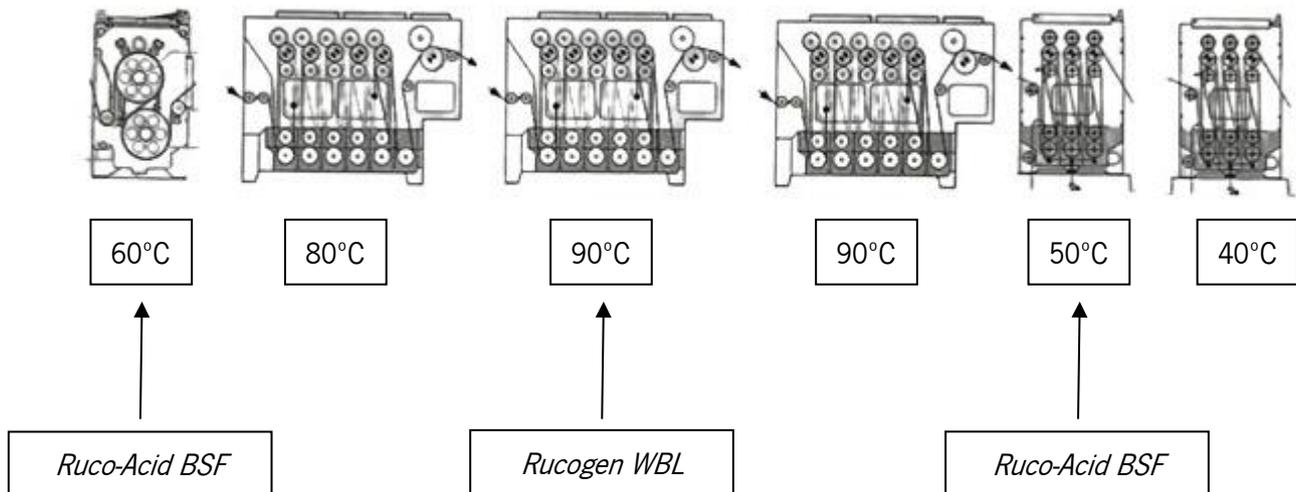
3.2.5.3. Método de lavagem das amostras em produção

No que concerne à metodologia de lavagem das amostras tingidas em produção, é utilizada uma máquina de lavar industrial com 6 caixas, através das quais o tecido mantém uma velocidade constante de 30m/min após entrada no equipamento. Salienta-se que o equipamento possui um mecanismo de medição automático de pH, onde a solução de ácido é automaticamente injetada até à obtenção do valor de pH previamente definido.

No caso de cores claras a médias, o processo inicia-se com a entrada do tecido no 1º compartimento onde é injetado *Ruco-Acid BSF*, até um pH de 8, à temperatura de 60°C, posteriormente é movimentado para a segunda caixa onde é enxaguado em água a 80°C. Posto isto é transferido para um 3º compartimento onde se encontra uma solução de 4g/L, de *Rucogen WBL* (detergente). Em seguida, o tecido é transferido para a 4ª caixa, onde é submetido a um enxaguamento, utilizando água a uma temperatura de 90°C.

Caso se trate de cores escuras, o procedimento é semelhante, contudo neste caso o substrato passa por uma solução de detergente à concentração de 2g/L e a uma velocidade de 60 metros por minuto, sendo efetuadas duas lavagens.

A lavagem é finalizada quando o tecido é introduzido no 5º compartimento, onde é imerso numa solução de *Ruco-Acid BSF* até um pH de 5, a uma temperatura de 50°C, terminando com o enxaguamento a 40°C, no último compartimento, tal como se observa no Esquema 5.



Esquema 5- Representação esquemática do processo de lavagem industrial na Têxteis J. F. Almeida

3.2.5.4. Comparação da eficácia de diferentes detergentes nas metodologias de lavagem

Com intuito de verificar a eficácia do detergente utilizado no laboratório (*Kemic Wash Rs*) comparativamente à do detergente aplicado na produção (*Rucogen WBL*), realizaram-se lavagens à escala laboratorial utilizando os dois detergentes. Para isso, inicialmente impregnou-se o substrato têxtil, acima referido, com uma solução de tingimento, sendo enrolado em contínuo e permanecendo num período de maturação de 12H, como recomendado pelo fornecedor. Posto isto, as amostras tingidas foram divididas em duas partes iguais, enxaguadas e neutralizadas, como mencionado anteriormente. Seguidamente, cada metade foi ensaboada à fervura durante 15 minutos em soluções específicas, com 1g/L de *Kemic Wash Rs* e 4g/L de *Rucogen WBL* respetivamente. Depois da fervura, as amostras foram centrifugadas e secas em râmola durante 2 minutos a 100°C, avaliando-se por fim a diferença de cor entre elas através de leituras realizadas num espectrofotómetro de reflexão X-Rite CI 7000.

3.2.5.5. Determinação das taxas de espessão utilizadas no laboratório e na produção.

Com o propósito de averiguar se as taxas de espessão utilizadas em ambiente laboratorial estariam em conformidade com as aplicadas na produção, procedeu-se à sua determinação, tanto no laboratório como na produção, para um conjunto de artigos processados no decorrer da atividade laboral da empresa. Para tal, efetuou-se a pesagem do substrato em estado seco e após impregnação, calculando-se a taxa de espessão através da equação 1. O procedimento foi análogo para ambos os contextos.

$$TE = \frac{\textit{peso substrato húmido} - \textit{peso substrato seco}}{\textit{peso do substrato seco}} \times 100 \quad [1]$$

3.2.5.6. Avaliação da Influência da Temperatura de maturação no Processo de Tingimento em *Pad-Batch*

Com o objetivo de analisar o impacto da temperatura de maturação no rendimento colorístico e consequentemente na tonalidade final do substrato, procedeu-se à impregnação de vinte amostras, utilizando um total de dez soluções de tingimento, ou seja, numa mesma solução de tingimento foram impregnadas duas amostras, as quais foram posteriormente enroladas em suportes separados. Posto isto, uma das amostras foi colocada a maturar na estação de maturação existente na produção, enquanto a outra foi maturada numa estufa, à temperatura de 40°C, no laboratório, seguindo a metodologia utilizada a nível laboratorial.

Após a maturação, todas as amostras foram submetidas aos processos de neutralização, ensaboamento, centrifugação e secagem na râmola, conforme descrito anteriormente. A avaliação terminou com a comparação colorimétrica de ambas as amostras.

3.2.5.7. Análise da Taxa de Humidade Residual dos substratos utilizados no laboratório e na produção

Com o objetivo de avaliar se os tecidos utilizados na produção apresentavam a mesma taxa de humidade residual que os tecidos armazenados em laboratório, procedeu-se à determinação da taxa de humidade residual de diferentes amostras. Para isso, avaliaram-se cinco tecidos, dos quais se retiraram três amostras de locais distintos de cada um deles.

Posto isto, as amostras foram pesadas e colocadas de seguida numa estufa a 90°C durante uma hora, a fim de remover completamente toda a humidade presente no substrato. Posteriormente, pesaram-se novamente as amostras e calculou-se a taxa de humidade residual recorrendo à Equação 3. Este procedimento foi aplicado tanto aos tecidos armazenados em condições laboratoriais quanto aos armazenados em condições de produção.

$$T.H.R = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso seco}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad [3]$$

3.2.5.8. Análise da Precisão na quantidade de Auxiliares de Tingimento no Processo de Tinturaria

Com objetivo de avaliar eventuais desvios do pH das soluções de tingimento utilizadas na produção, optou-se por controlar o respetivo pH durante diferentes fases do processo de tingimento, mais especificamente, no início e no final de cada partida. Para isso retirou-se aproximadamente 200ml de solução de tingimento, no início e no fim de cada partida e determinou-se o pH recorrendo a um medidor de pH.



Figura 14- Medidor de pH do laboratório da Têxteis J. F. Almeida

Fonte: Própria

4. Apresentação e discussão dos resultados

Passar-se-á, de seguida, à apresentação e discussão dos resultados obtidos nos ensaios realizados com o objetivo de avaliar, não só a suscetibilidade de alteração de cor após acabamento químico com resinas nas gamas de corantes testadas, mas também a reprodutibilidade entre laboratório e produção, identificando possíveis fatores que possam contribuir para o aparecimento de problemas a este nível.

4.1. Análise da alteração de cor após acabamento com resinas

4.1.1. Corantes Reativos Everzol

Os resultados apresentados na Figura 15, correspondentes à gama de corantes reativos *Everzol*, permite-nos aferir que, dois dos quatro corantes analisados apresentam uma alteração de cor significativa, após acabamento com resinas.

A partir de uma análise preliminar da Figura 15, é facilmente observável que o aumento da concentração de corante, de 1g/L para 10g/L, está associado a um aumento significativo da alteração de cor, após acabamento com resinas para todos os corantes analisados, independentemente do tipo de resina aplicada. No entanto, é importante destacar que esse notável aumento do ΔE não ocorre de forma semelhante em todos os casos. Ou seja, embora haja um aumento em todas as situações, este ocorre em proporções diferentes e é totalmente dependente do tipo de acabamento aplicado e do corante em questão.

Posto isto, entre os corantes que foram avaliados, o *Vermelho Everzol LFB* é o que exhibe a maior alteração de cor, para ambas concentrações de corante e acabamentos testados. Para uma concentração de 10g/L, apresenta um ΔE de 1,21 para o acabamento com uma resina isenta de formaldeído (GOTS) e 1,67 para o acabamento com uma resina com baixo teor de formaldeído (Não Gots). Em seguida, o Amarelo *Everzol LX*, apresenta um ΔE de 1,12 para o acabamento *Gots* e 1,50 para o acabamento não *Gots*, também para uma concentração de 10g/L.

Ambos os corantes apresentam valores de ΔE superiores ao limite máximo tolerável, que é de 1, indicando a necessidade de ajustar ou reconsiderar na escolha destes corantes, com a finalidade de atender às especificações da empresa. Face a estes resultados, considera-se que a gama de corantes analisada não é adequada para aplicabilidade em processos de tingimento por impregnação com acabamento químico posterior com resinas, dada a possibilidade de obtenção de um considerável número de não conformidades.

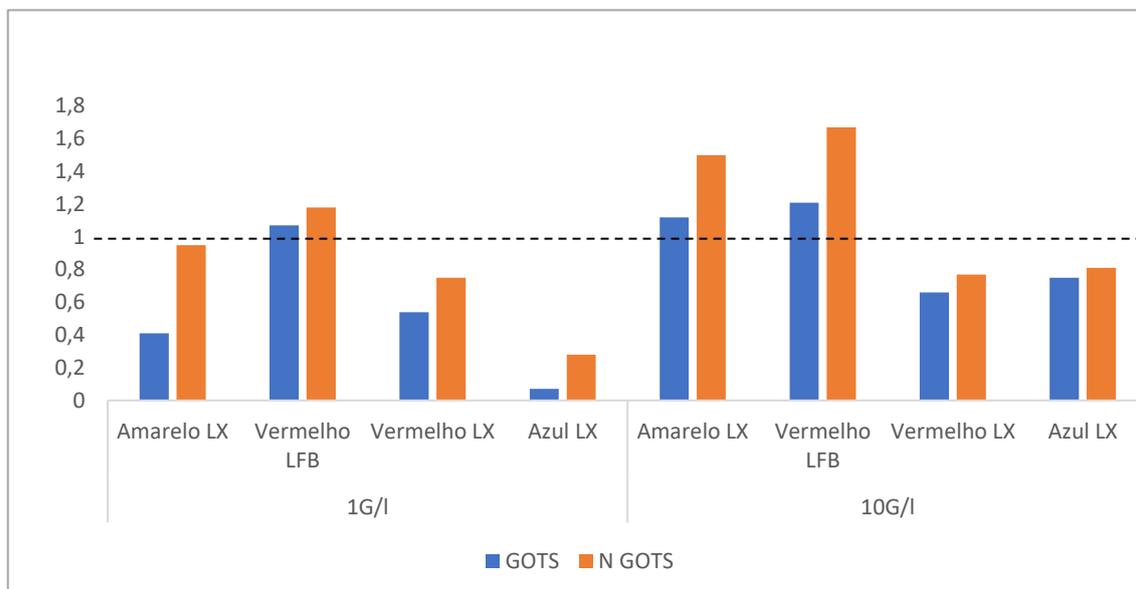


Figura 15- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama *Everzol*

4.1.2. Corantes Reativos Remazol

A partir da análise da Figura 16, é facilmente perceptível que existe uma maior alteração de cor no acabamento com baixo teor de formaldeído quando comprado com o acabamento isento de formaldeído, para todos os corantes analisados e para ambas as concentrações de corante testadas, à semelhança da gama analisada anteriormente.

Por outro lado, o corante *Azul Corazol RD* exhibe valores de ΔE muito semelhantes para ambos os tipos de acabamentos, indicando uma consistência na resposta à presença de resinas, registando um ΔE de 0,28 no acabamento *Gots* e 0,31 no acabamento não *Gots* para a concentração de 1g/L. Na concentração de 10g/L regista um ΔE de 0,34 e 0,35 respetivamente, o que sugere um comportamento semelhante em relação a ambos os acabamentos.

Na gama de corantes *Remazol*, da mesma forma que ocorre com a gama *Everzol*, o aumento da concentração de corante de 1g/L para 10g/L está associado a um aumento da diferença de cor, independentemente do tipo de acabamento utilizado, para todos os corantes analisados. Contudo, é importante salientar que o aumento da alteração de cor, é consideravelmente menos significativo quando comprado com a gama anterior, dado que apenas um dos corantes (*Amarelo Ultra RGBM*) ultrapassa o limite de ΔE de 1, apenas para o acabamento com baixo teor de formaldeído e à concentração de 10g/L.

Dado o exposto, pode considerar-se que a gama *Remazol* é perfeitamente adequada para aplicação em processos de tingimento por impregnação de materiais, que exigem um acabamento subsequente com resinas. Essa conclusão é fundamentada pelo facto de que apenas um dos corantes excede ligeiramente o limite máximo estabelecido pela empresa, sendo essa discrepância considerada pouco significativa devido ao valor de ΔE , que é de apenas 1,02, para a concentração de 10g/l.

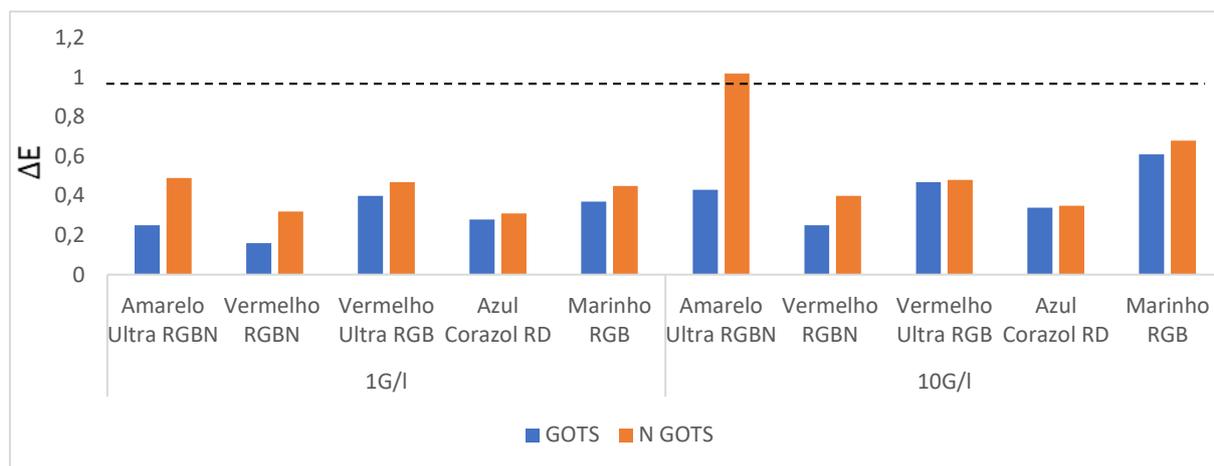


Figura 16- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Remazol

4.1.3. Corantes Reativos Levafix CA

Analisando os resultados apresentados na Figura 17, correspondentes à gama de corantes reativos *Levafix CA*, é possível concluir que dois dos quatro corantes analisados apresentam uma alteração de cor significativa, após acabamento com resinas, apenas para a concentração de 10g/L.

De forma similar às outras gamas de corante avaliadas, a gama *Levafix CA* apresenta uma diminuição na alteração de cor quando submetida a acabamentos com resinas isentas de formaldeído (Gots), em comparação com o acabamento com resinas de baixo teor de formaldeído (Não Gots), para todos os corantes avaliados e para ambas as concentrações testadas.

Neste sentido, entre os corantes que foram estudados, o *Amarelo Levafix CA* destaca-se negativamente, apresentando a maior variação de cor, tanto para as duas concentrações de corante testadas, quanto para ambos os tipos de acabamentos. Para uma concentração de 10g/L, regista um ΔE de 1,38 no acabamento com resina isenta de formaldeído e 1,46 no acabamento com resina com baixo teor de formaldeído. Seguidamente, o corante *Amber Levafix CA*, possui valores de ΔE 1,04 para acabamento isento de formaldeído e 1,11 para o acabamento com baixo teor de formaldeído, para uma concentração de 10g/L e valores de ΔE 0,33 e 0,41, para uma concentração de 1g/l, respetivamente.

Por fim, ambos os corantes para uma concentração de 10g/L, não atendem às exigências estabelecidas pela empresa, uma vez que ambos apresentam valores de ΔE que excedem o limite tolerável definido pela mesma.

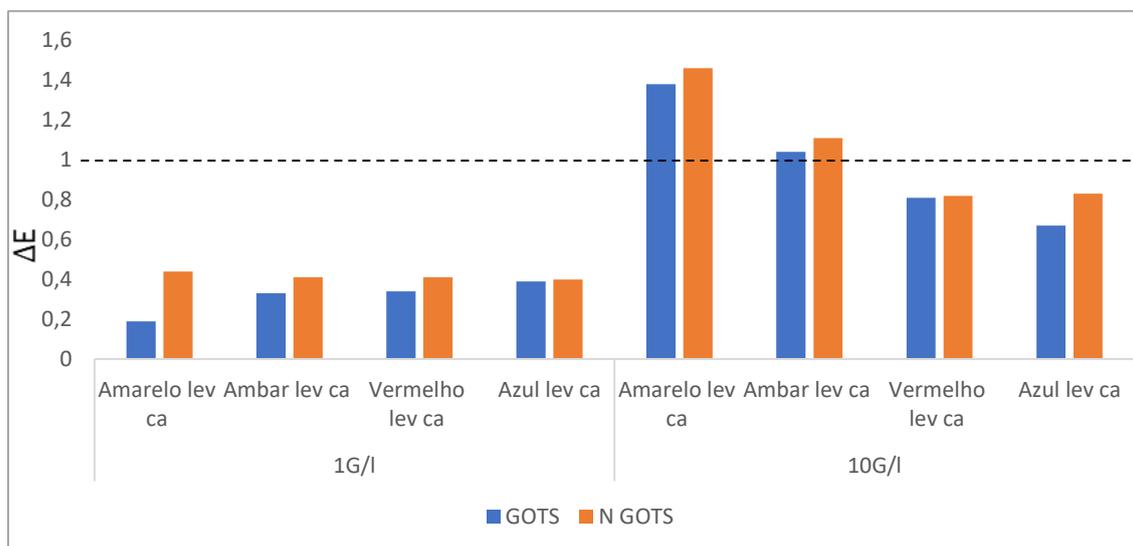


Figura 17- Resultados da alteração de cor registrada nos corantes reativos da gama *Levafix CA*

4.1.4. Avaliação global da alteração de cor de tecidos após acabamento com resinas

Avaliando na globalidade os resultados obtidos na avaliação da alteração de cor após acabamentos com resinas, é possível constatar que para todas as gamas de corantes analisadas o aumento da concentração de corante de 1g/L para 10g/L encontra-se diretamente associado a aumento substancial da alteração de cor e consequentemente do ΔE , independentemente do tipo de acabamento aplicado.

Estes resultados estão em concordância com o trabalho publicado por Farooq et al., que também observou uma alteração significativa de cor ao aplicar resinas semelhantes em tecidos com concentrações mais elevadas de corante. Os autores desse estudo indicam que esses resultados se devem ao facto de as moléculas da resina reagirem com o corante, formando uma rede de ligações tridimensionais à superfície do tecido tingido, provocando dessa forma a alteração da tonalidade do material (Farooq, Irshad, Azeemi, & Nasir, 2020).

Além disso, é possível constatar também uma notória diferença entre os dois tipos de acabamentos utilizados, ou seja, é facilmente observável que o acabamento isento de formaldeído apresenta menores valores de ΔE , induzindo uma menor alteração de cor quando comparado com o acabamento com baixo teor de formaldeído, para todas as gamas de corantes avaliadas. Sendo que os

acabamentos utilizados possuem exatamente os mesmos reagentes com exceção da resina aplicada, pode então concluir-se que efetivamente a resina utilizada no acabamento com baixo teor de formaldeído, proporciona uma maior alteração de cor.

No contexto específico da gama *Everzol*, dois dos corantes (*Vermelho Everzol LFB* e *Amarelo Everzol LX*) revelaram valores de ΔE bastante negativos, tanto para concentrações baixas (1g/L), quanto para concentrações mais elevadas de corante (10g/L). Quando os fornecedores dos corantes foram informados desses resultados, recomendaram a substituição do *Vermelho Everzol LFB* pelo *Vermelho Everzol LX*. Este novo corante demonstrou resultados significativamente melhores em comparação com o corante anterior, não ultrapassando o valor tolerável de ΔE aplicado pela empresa, para ambas as concentrações de corante.

Relativamente ao *Amarelo Everzol LX*, pode concluir-se que este corante apresenta resultados bastante negativos, uma vez que é notória uma alteração significativa ao nível da intensidade e tonalidade de cor quando comparadas as amostras com acabamento com a amostra padrão (sem acabamento). O conjunto destes resultados não recomendam o uso desta gama de corantes, mesmo em concentrações mais reduzidas, revelando-se pouco adequado para processos de tingimento que requerem um acabamento posterior com resinas.

De todas as gamas de corantes analisadas, pode considerar-se que a gama *Remazol* é a que apresenta melhores resultados, ou seja, é a que proporciona uma menor alteração de cor, revelando-se perfeitamente adequada para aplicação em processos de tingimento por impregnação, que exigem um acabamento subsequente com resinas. Essa conclusão apoia-se no facto de que apenas um dos corantes ultrapassa ligeiramente o limite máximo estabelecido pela empresa, sendo essa discrepância considerada pouco significativa devido ao valor de ΔE , que é de apenas 1,02, na concentração de 10g/L.

Ao considerar todos os resultados na sua totalidade, torna-se evidente que os corantes com tonalidades amarelas, independentemente da gama de corantes analisada, são os que demonstram a maior variação de cor após o tratamento com resinas.

Por último, é importante enfatizar que a gama de corantes *Levafix CA* apresenta bons resultados, quando se trata da sua utilização em concentrações reduzidas. No entanto, à medida que a concentração de corante é gradualmente aumentada, observa-se um aumento progressivo na alteração de cor, requerendo esta gama, uma análise mais aprofundada para determinar se sua aplicabilidade é

viável apenas para cores que utilizam baixas concentrações de corante ou se pode ser amplamente utilizada numa variedade mais alargada de cores.

4.1.5. Modelos matemáticos para previsão da alteração de cor dos corantes da gama Levafix CA, em função da concentração de corante aplicada.

A gama de corantes *Levafix CA* é frequentemente utilizada pela empresa para o desenvolvimento de cores no tingimento em *pad-batch*. Neste sentido, torna-se especialmente interessante realizar uma análise mais detalhada desta gama, a fim de determinar as concentrações máximas de corante em que a sua utilização é viável.

Para atingir esse propósito, realizaram-se tingimentos com os diferentes corantes desta gama, em concentrações distintas, procedendo-se de seguida à aplicação dos diferentes acabamentos e finalmente à análise das coordenadas de cor de cada amostra, com objetivo de desenvolver um modelo matemático que permitisse obter uma previsão para a alteração de cor, ou seja o ΔE previsível associado à aplicação de uma determinada receita logo no processo de abertura de cor, para ambos os acabamentos.

4.1.5.1. Amarelo Levafix CA

A análise das Figuras 18 e 19, correspondentes ao corante *Amarelo Levafix CA*, permitem avaliar a evolução da variação das coordenadas de cor L,a,b de tecidos tingidos e acabados, em função da concentração de corante aplicada. Ou seja, as amostras foram tingidas com diferentes concentrações de corante e posteriormente submetidas aos acabamentos com resinas. Em seguida, as amostras foram comparadas com amostras sem acabamento com a mesma concentração de corante aplicado, resultando desta comparação as variações das coordenadas L,a,b, ou seja os valores de ΔL , Δa e Δb representados no gráfico.

Pela análise dos resultados apresentados nas Figuras 18 e 19, torna-se evidente que o aumento da concentração de corante se traduz num gradual aumento do valor de ΔL e numa diminuição gradual dos valores de Δa e Δb , para ambos os tipos de acabamentos estudados.

Estes resultados indicam que, no caso do corante *Amarelo Levafix CA*, as amostras analisadas ficam mais claras, uma vez que há um evidente aumento na coordenada L, para ambos os tipos de acabamento. Além disso, as amostras adquirem tonalidades mais esverdeadas e azuladas, como o comprovam a diminuição gradual das coordenadas a e b, respetivamente.

No contexto dos gráficos analisados, é possível observar claramente que foram aplicadas regressões lineares, no caso do ΔL e Δb e regressões polinomiais de grau dois no caso do Δa , para ambos os acabamentos realizados, no caso do corante *Amarelo Levafix CA*.

Os coeficientes de correlação (R^2) desses modelos para ΔL , Δa e Δb são de 0,8456, 0,8516 e 0,9575, para o acabamento isento de formaldeído e 0,9031, 0,8097 e 0,9842 para o acabamento com baixo teor de formaldeído, indicando que as relações entre as variáveis em estudo são estatisticamente significativas.

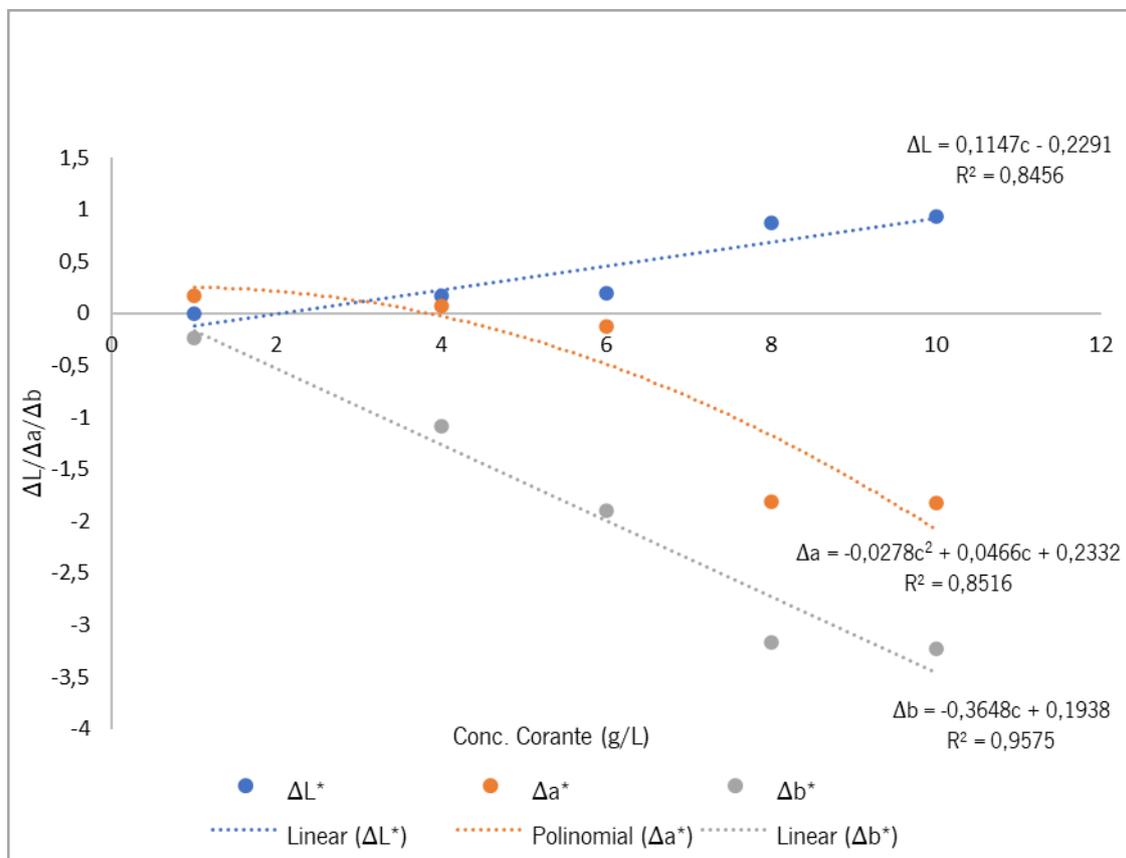


Figura 18- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante *Amarelo Levafix CA* aplicado

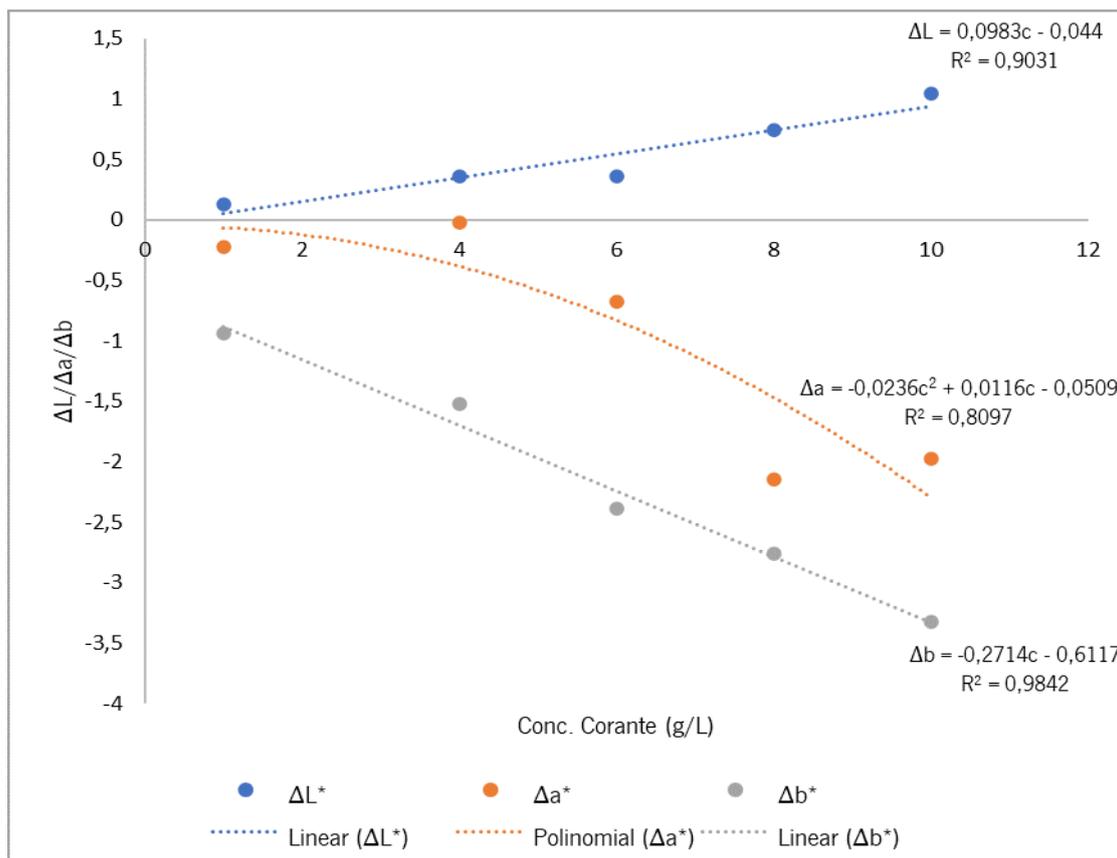


Figura 19- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respectivo comportamento em função da concentração de corante Amarelo Levafix CA aplicado

4.1.5.2. Amber Levafix CA-N

Ao analisar as Figuras 20 e 21, podemos observar que, para ambos os acabamentos, existe um aumento progressivo da coordenada L quando comparada com a amostra sem acabamento, de maneira semelhante ao comportamento do corante mencionado anteriormente. Esse resultado, indica que ambos os acabamentos causam um efeito que faz com que as amostras apresentem uma tonalidade mais clara.

No que corresponde à coordenada “a”, com o aumento da concentração de corante aplicado as amostras de ambos os acabamentos, registam uma diminuição gradual de “a” originando amostras gradualmente mais esverdeadas. É importante enfatizar, que essa diminuição da variação da coordenada “a” ocorre de forma mais significativa no acabamento com baixo teor de formaldeído, quando comparado com o acabamento isento de formaldeído, o que significa que as amostras ficam significativamente mais verdes nesses casos.

Quanto à coordenada “b”, de forma geral, para ambos os acabamentos existe um comportamento idêntico ao registado na coordenada “a”, ou seja, o aumento da concentração de corante é acompanhado por uma diminuição gradual do valor da coordenada “b”. Contudo este fenómeno ocorre de forma mais acentuada para concentrações de corante mais elevadas.

Estes resultados indicam que, no caso do corante *Amber Levafix CA*, as amostras tratadas com resinas adquirem tonalidades mais azuis, como o comprova a diminuição gradual da coordenada “b”.

Para finalizar, torna-se importante referir que os coeficientes de correlação (R^2) dos modelos analisados desenvolvidos para as coordenadas as variáveis ΔL , Δa e Δb são de 0,8931, 0,9227 e 0,8822 para o acabamento isento de formaldeído, e 0,9558, 0,9808 e 0,8551 para o acabamento com baixo teor de formaldeído, os quais permitem concluir que as relações entre as variáveis em estudo são estatisticamente significativas.

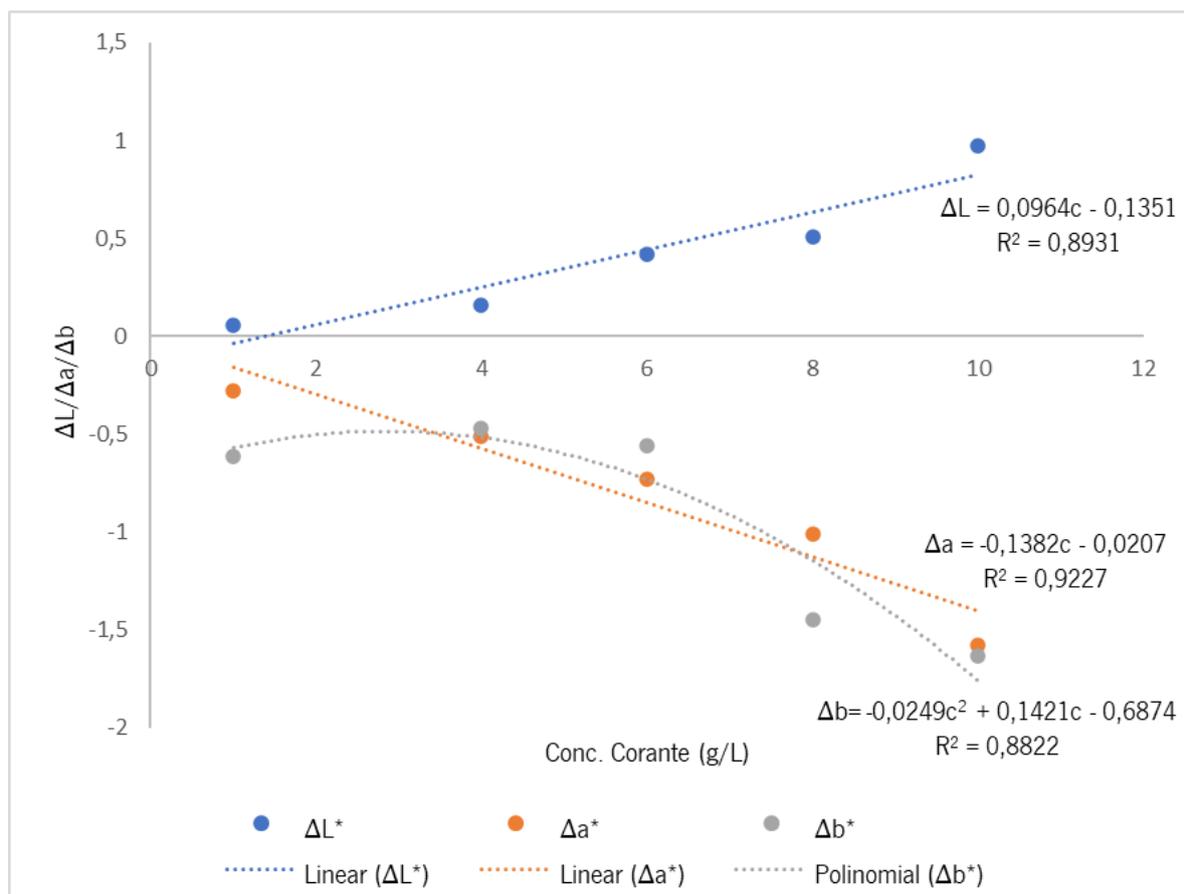


Figura 20- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respetivo comportamento em função da concentração de corante *Amber Levafix CA-N* aplicado

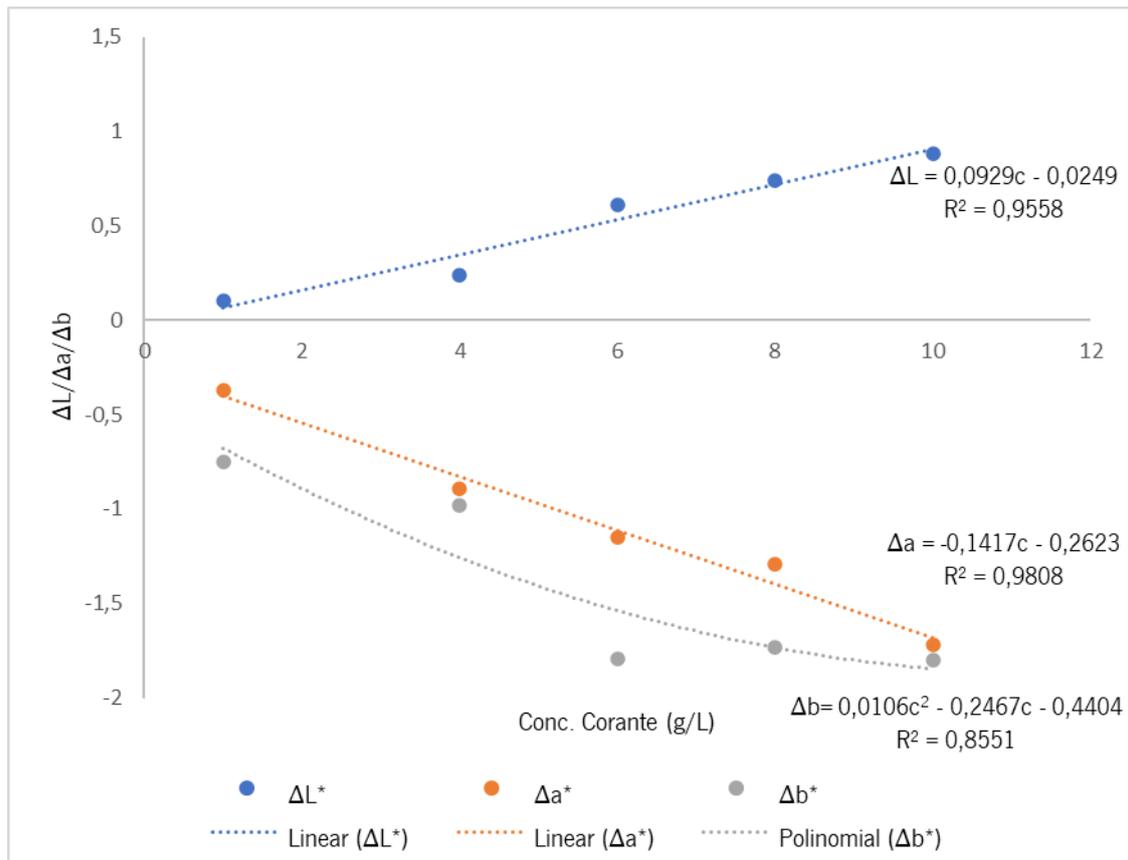


Figura 21- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respectivo comportamento em função da concentração de corante *Amber Levafix CA-N* aplicado

4.1.5.3. Vermelho Levafix CA

Ao analisar as Figuras 22 e 23, que correspondem aos resultados obtidos após realização dos acabamentos com resinas isentas de formaldeído e com baixo teor de formaldeído, respectivamente, para o corante Vermelho *Levafix CA*, podemos observar que, no que diz respeito à variação de ΔL , este corante apresenta um comportamento bastante semelhante aos analisados anteriormente. Isso significa que as amostras tingidas com concentrações mais altas de corante apresentam uma maior variação na coordenada de luminosidade, indicando que os acabamentos com resinas influenciam, de forma significativa a intensidade da cor, tornando, em geral, as amostras mais claras.

No que diz respeito à coordenada "a", à medida que a concentração de corante aumenta, podemos observar que as amostras de ambos os acabamentos apresentam uma diminuição gradual do valor Δa . Neste sentido, as amostras tingidas adquirem gradualmente uma tonalidade mais esverdeada quando comparadas com amostras da mesma concentração, mas sem acabamento.

No que diz respeito à coordenada “b”, ao analisar os gráficos, observa-se uma diminuição gradual do valor Δb para ambos os tipos de acabamentos. Uma análise mais detalhada revela que, até uma concentração de 6g/L, as amostras sem acabamento apresentam valores mais baixos na coordenada “b” em comparação com as amostras com acabamento. Isso confirma-se pela variação positiva em Δb , indicando que essas amostras tendem a ter uma tonalidade mais amarelada em comparação com a amostra padrão. A partir dessa concentração, as amostras registam valores Δb negativos, indicando que as amostras com acabamento tendem a ter uma tonalidade mais azulada em comparação com a amostra padrão para essas concentrações de corante.

No desfecho desta análise, é imperativo destacar os coeficientes de correlação (R^2) obtidos para os modelos desenvolvidos para prever os valores das variáveis ΔL , Δa e Δb . No caso do acabamento isento de formaldeído, os coeficientes são de 0,8537, 0,9501 e 0,9354 respectivamente, enquanto, para o acabamento com baixo teor de formaldeído, os valores são de 0,9712, 0,9994 e 0,9345 respectivamente para as mesmas variáveis. Estes resultados corroboram a evidência da existência de relações estatisticamente significativas entre as variáveis em estudo.

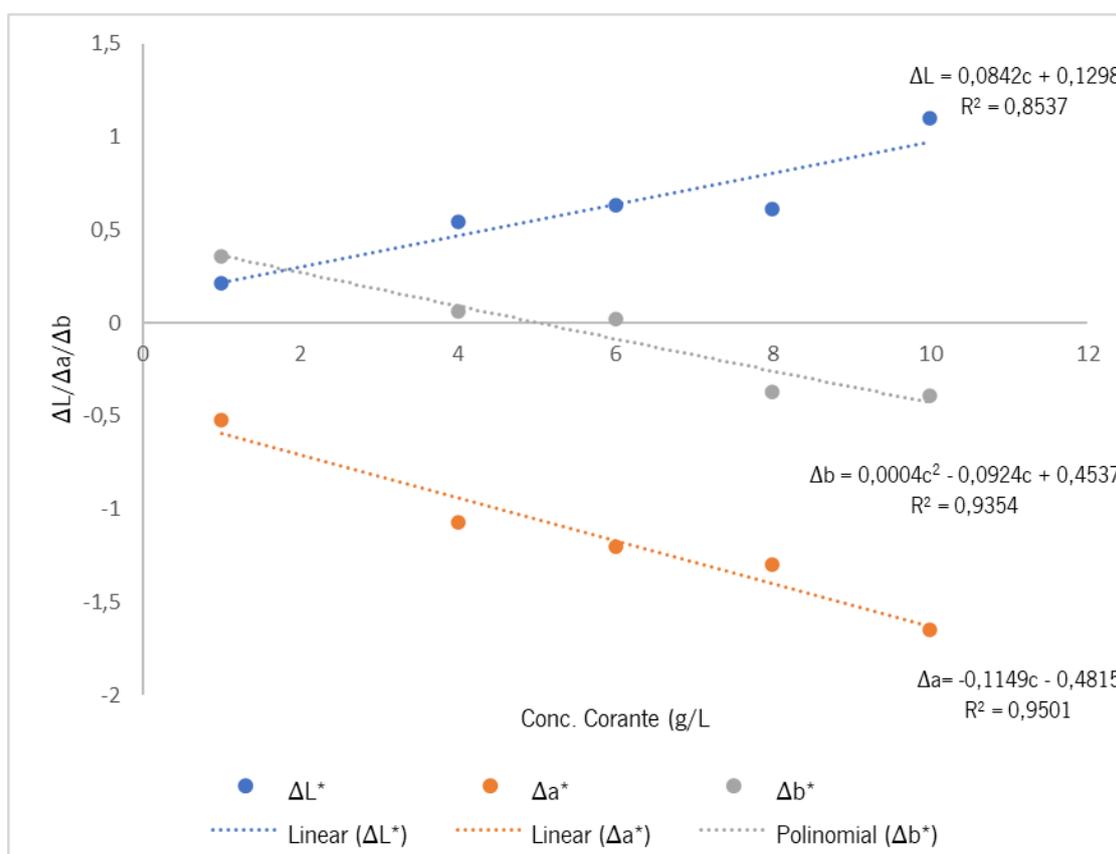


Figura 22- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respectivo comportamento em função da concentração de corante Vermelho brilhante *Levafix CA* aplicado

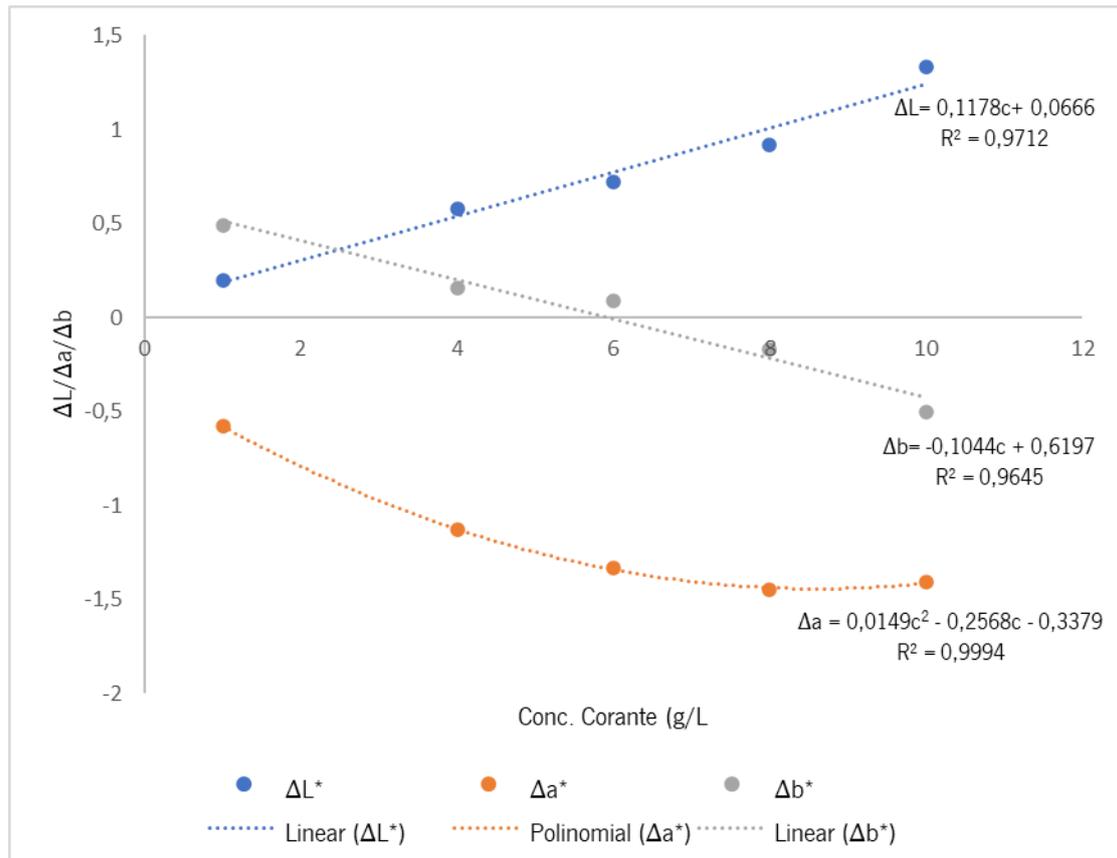


Figura 23 - Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respectivo comportamento em função da concentração de corante Vermelho brilhante *Levafix CA* aplicado

4.1.5.4. Azul Levafix CA

Ao analisarmos as Figuras 24 e 25, correspondentes ao corante *Azul Levafix CA* e que representam os acabamentos com resinas isentas de formaldeído e com baixo teor de formaldeído, respetivamente, pode destacar-se que, no que se refere à variação de ΔL , este corante apresenta um comportamento bastante similar aos analisados anteriormente. Ou seja, à medida que a concentração do corante aumenta, há um aumento correspondente na variação de ΔL . Este resultado indica que amostras com concentrações mais elevadas de corante apresentam uma maior variação na coordenada de luminosidade, sugerindo que os acabamentos com resinas têm uma influência significativa na intensidade da cor, tornando na generalidade as amostras mais claras.

No que diz respeito à coordenada "a", à medida que a concentração de corante aumenta, pode observar-se que as amostras do acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído apresentam uma diminuição ligeira do valor Δa , o que significa que as amostras tingidas adquirem gradualmente uma tonalidade ligeiramente mais esverdeada quando comparadas com a amostra com a mesma concentração de corante, mas sem acabamento.

No caso específico do acabamento isento de formaldeído, os resultados seguem um comportamento bastante semelhante ao da resina com baixo teor de formaldeído, registrando-se, na generalidade, uma ligeira diminuição do valor de Δa , à medida que se aumenta a concentração de corante.

Quanto à coordenada "b", no caso do acabamento isento de formaldeído, observamos um aumento gradual de Δb até 8g/L, que, no entanto, vai progressivamente desacelerando à medida que a concentração de corante vai subindo, acabando mesmo por estabilizar para concentrações de corante superiores a 8g/L. Esses resultados indicam que as amostras submetidas a esse acabamento estão a adquirir gradualmente uma tonalidade mais amarelada em comparação com a amostra padrão.

Relativamente ao acabamento com baixo teor de formaldeído, observa-se, de forma geral, um aumento no Δb quando a concentração de corante aplicado aumenta. No entanto, esse aumento não ocorre de forma gradual, uma vez que, tal como aconteceu com a aplicação de resinas isentas de formaldeído, ocorre mais rapidamente para baixas concentrações de corante, acabando o valor de Δb por apresentar uma tendência para estabilizar para concentrações de corante superiores a 6g/L. Contudo, na globalidade todas as amostras sujeitas a este acabamento apresentam tonalidades mais amareladas quando comparadas com as amostras correspondentes não submetidas a acabamento.

Para concluir, é relevante destacar que os coeficientes de correlação (R^2) obtidos para os modelos desenvolvidos, são de 0,9947, 0,8098 e 0,7049, respetivamente, confirmando que uma elevada percentagem da variação registada nas variáveis ΔL , Δa e Δb pode ser explicada pela variação da concentração de corante aplicada no tingimento.

No caso do acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído, os valores de R^2 são ainda mais elevados, mais especificamente 0,9994, 0,9636 e 0,9207, para as mesmas variáveis, confirmando que mais de 90% da variação registada em cada uma delas pode ser explicada pela variação da concentração de corante aplicada.

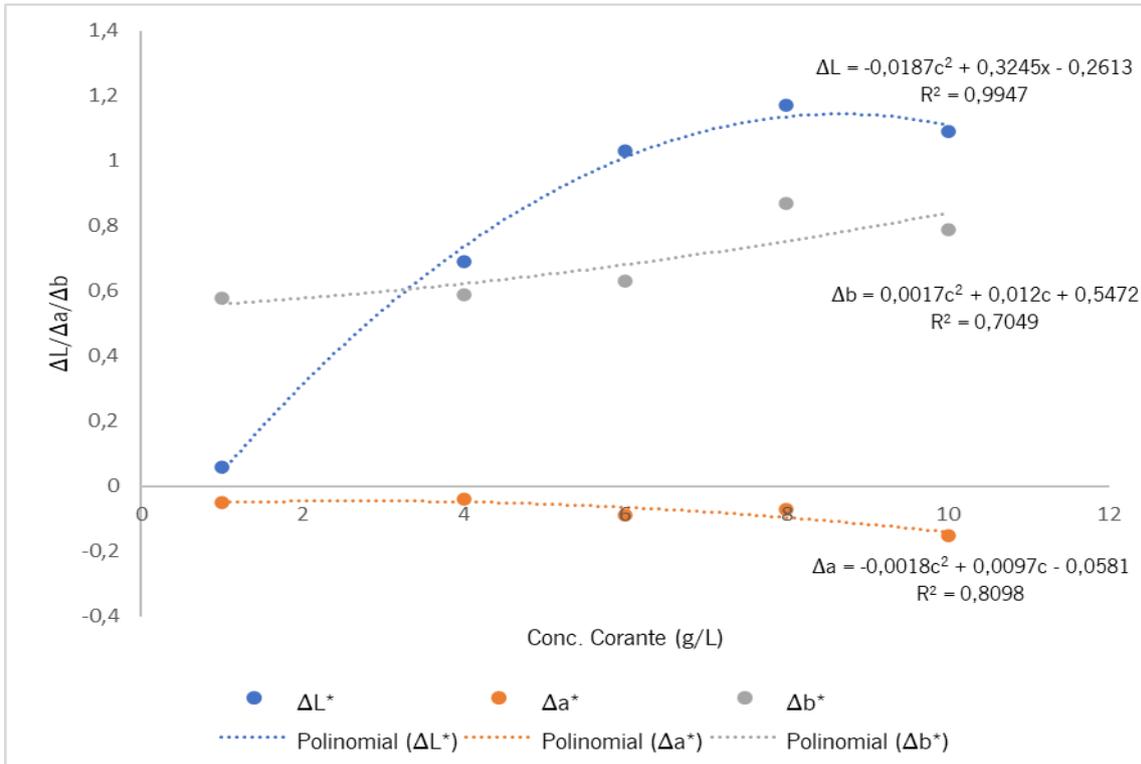


Figura 24- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas isentas de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respectivo comportamento em função da concentração de corante Azul Levafix CA aplicado

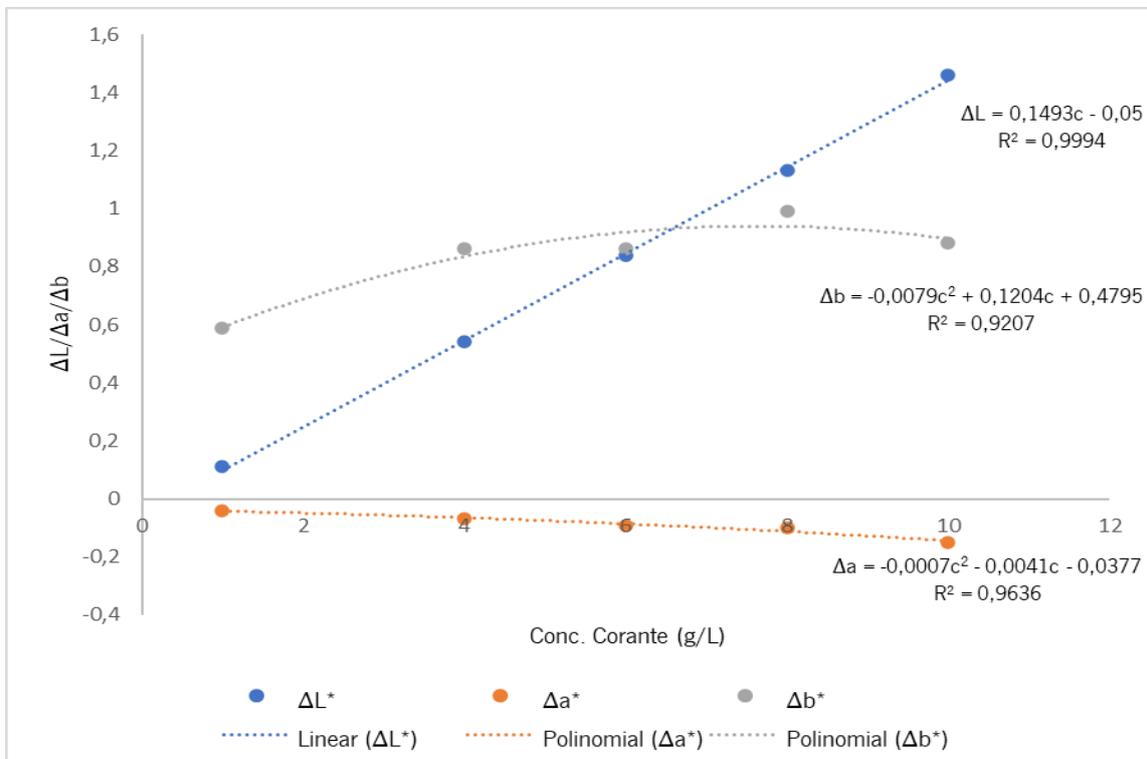


Figura 25- Valores de ΔL , Δa e Δb reais após o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído e modelos matemáticos que descrevem o respectivo comportamento em função da concentração de corante Azul Levafix CA aplicado

4.1.5.5. Avaliação Global à análise das coordenadas de cor da gama Levafix CA

A análise geral dos resultados obtidos, permite retirar conclusões fundamentais relativas à alteração de cor proporcionada pelos acabamentos. De forma geral, todas as amostras submetidas a acabamentos apresentam uma tonalidade mais clara quando comparadas com as amostras tingidas com a mesma concentração de corante, sem acabamento. Esta conclusão encontra-se em concordância com a literatura disponível, como o comprova o trabalho realizado por (Kut, Orhan, & Gunesoglu, 2006), no qual a aplicação de resinas, semelhantes às analisadas no presente trabalho (dimetilol dihidroxietileno ureia) provocou um aumento do índice de refletância, ou seja, tornou as amostras mais claras quando comparadas com a amostra padrão.

Tal como concluindo anteriormente, na gama de corantes reativos *Levafix CA*, tal como com as restantes gamas analisadas, é observável que o aumento da concentração de corante está intrinsecamente associado a um aumento significativo na alteração de cor, para todos os corantes analisados e independentemente do tipo de acabamento aplicado. Tal como foi anteriormente referido, uma possível explicação relaciona-se com o facto de as moléculas das resinas aplicadas no acabamento reagirem com o corante, formando uma rede de ligações tridimensional à superfície do tecido tingido, alterando dessa forma a sua tonalidade (Farooq, Irshad, Azeemi, & Nasir, 2020).

Tal como mencionado na análise dos resultados anteriormente apresentados, é notório que o acabamento com resinas isentas de formaldeído apresenta menores valores de ΔE , induzindo uma menor alteração de cor quando comparado com o acabamento com resinas com baixo teor de formaldeído, para todos os corantes avaliados, corroborando a ideia de que a resina com baixo teor de formaldeído provoca uma maior alteração de tonalidade.

Como os acabamentos químicos não são completamente transparentes, ou seja, formam um revestimento translúcido na superfície do substrato têxtil, poderá existir uma possível alteração no índice de refração da superfície, com implicações diretas na cor do material (Farooq, Irshad, Azeemi, & Iqba, 2021). De forma global, pode concluir-se que com o aumento gradual da concentração de corante, as amostras tingidas e acabadas, registam uma diminuição gradual dos valores de Δa e Δb , originando amostras gradualmente mais verdes e azuis, respetivamente no caso dos corantes Amarelo *Levafix Ca* e Vermelho brilhante *Levafix CA*. No caso do corante Azul *Levafix CA*, regista-se uma diminuição dos valores de Δa e um aumento dos valores de Δb , originando amostras com tonalidades gradualmente mais esverdeadas e amareladas.

As alterações de tonalidade que ocorrem após a aplicação de acabamentos com resinas podem ser atribuídas a diversas causas. Assim alguns estudos de investigação, indicam que o processo de polimerização dos acabamentos com resinas, realizadas a altas temperaturas, pode não só causar danos no cromóforo dos corantes, mas também modificar a estrutura da superfície do substrato, contribuindo para uma alteração da sua tonalidade. Além disso, a interação entre os agentes de reticulação e os cromóforos das moléculas dos corantes também desempenham um papel significativo na alteração da cor do tecido final (Farooq, Irshad, Azeemi, & Iqba, 2021).

4.1.5.6. Aplicação dos modelos matemáticos desenvolvidos na previsão de alteração de cor em materiais tingidos com tricromias, após acabamento com resinas

Após analisar a alteração de cor promovida pelos acabamentos com resinas em amostras tingidas com corantes isolados e desenvolver modelos matemáticos que descrevam esse comportamento, decidiu-se avaliar a eficácia dos mesmos em situações mais complexas, ou seja, quando aplicados na previsão do desvio de cor de amostras tingidas com tricromias de corantes.

Esta análise revela-se bastante importante, dado que, como concluído anteriormente, os acabamentos com resinas podem provocar efeitos opostos em diferentes corantes. Assim, um determinado corante pode por exemplo sofrer uma alteração para uma tonalidade mais amarelada e outro corante pertencente à mesma tricromia pode apresentar uma alteração para um tom mais azulado, criando um mecanismo de compensação entre eles.

Neste sentido, recorreu-se à utilização dos modelos matemáticos anteriormente desenvolvidos, que descrevem a variação das coordenadas L,a,b, para os vários corantes da gama *Levafix CA* testados, tendo como objetivo prever a alteração de cor do material tingido com uma determinada receita. Para tal, procedeu-se ao somatório das variações de cada coordenada de cor, para todos os corantes incluídos na receita, calculadas de acordo com a aplicação dos modelos desenvolvidos.

Posto isto, calculou-se o ΔE teórico, através do cálculo da raiz quadrada do somatório dos quadrados da variação prevista para cada uma das coordenadas, ou seja, fazendo:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta a \text{ total})^2 + (\Delta b \text{ total})^2 + (\Delta L \text{ total})^2} \quad [4]$$

Uma vez calculado o valor ΔE teórico, determinou-se o ΔE real, de modo a avaliar a eficácia dos modelos matemáticos desenvolvidos. Para isso, procedeu-se ao tingimento de 12 amostras, realizando

posteriormente os acabamentos com os dois tipos de resinas sobre as mesmas. Posto isto, determinou-se o ΔE real, recorrendo ao uso do espectrofotómetro e comparou-se esse valor com o valor de ΔE teórico, encontrando-se os resultados obtidos apresentados nas tabelas 11 e 12.

Tabela 11- Comparação das diferenças de cor reais e teóricas das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos *Levafix CA*, para acabamentos com resinas isentas de formaldeído.

		Corantes				ΔE teórico	ΔE real	%Erro
Receita	Amarelo Lev CA	Amber Lev CA-N	Vermelho Lev CA	Azul Lev CA				
Concentração g/L	Acabamento isento de formaldeído							
	1	0	0,23	0,08	0,15	0,711	0,426	66,88%
	2	0	1,27	0,70	1,7	0,993	1,497	16,30%
	3	0	0,65	0,30	2,63	0,955	0,988	3,37%
	4	0	1,4	1,62	0,23	0,993	0,905	9,68%
	5	0	0,43	0,39	0,14	0,755	0,625	20,77%
	6	0	0,32	0,50	0,173	0,740	0,834	11,26%
	7	0	1,85	0,70	1,0	1,027	1,146	10,37%
	8	0	0,19	0,067	0,13	0,706	0,624	13,18%
	9	0,17	0	0	0,3	0,80	0,765	4,67%
	10	0	0,013	0,005	6,27	1,265	1,1	14,97%
	11	0	0,68	0,285	0,67	0,778	0,649	19,85%
12	0	0,30	0,16	1,4	0,73	0,807	9,52%	

Tabela 12- Comparação das diferenças de cor reais e teóricas das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos *Levafix CA*, para acabamentos com resinas com baixo teor de formaldeído

		Corantes				ΔE previsível	ΔE real	%Erro
Receita	Amarelo Lev CA	Amber Lev CA-N	Vermelho Lev CA	Azul Lev CA				
Concentração g/L	Acabamento com baixo teor de formaldeído							
	1	0	0,23	0,08	0,15	0,738	0,618	19,40%
	2	0	1,27	0,70	1,7	1,10	1,314	16,30%
	3	0	0,65	0,30	2,63	1,02	1,283	20,31%
	4	0	1,4	1,62	0,23	1,27	1,124	13,32%
	5	0	0,43	0,39	0,14	0,821	0,962	14,61%
	6	0	0,32	0,50	0,173	0,838	0,818	2,46%
	7	0	1,85	0,70	1,0	1,15	1,227	6,24%
	8	0	0,19	0,067	0,13	0,732	0,793	7,71%
	9	0,17	0	0	0,3	0,511	0,664	23,07%
	10	0	0,013	0,005	6,27	1,376	1,214	13,46%
	11	0	0,68	0,285	0,67	0,851	0,828	2,79%
12	0	0,30	0,16	1,4	0,850	0,91	6,54%	

Através dos resultados apresentados nas tabelas 11 e 12, é facilmente observável que os modelos matemáticos desenvolvidos demonstraram a sua fiabilidade, uma vez que, no conjunto de 24 amostras analisadas, apenas num dos casos se verifica que a decisão “Passa” / “Não Passa”, em função do valor de ΔE ser superior ou inferior a 1, é distinta analisando o ΔE real e o ΔE teórico, e mesmo esse caso encontra-se numa situação limite. Estes modelos possibilitam, então, o cálculo do valor de alteração de cor teórica com uma precisão bastante razoável, ou seja, com uma proximidade significativa em relação aos valores obtidos experimentalmente.

Analisando os resultados obtidos do ponto de vista absoluto, observa-se que excetuando a receita número um, para o acabamento isento de formaldeído que apresenta um desvio significativamente elevado (66,88%), nos restantes casos as variações oscilam entre 2,46% e 23,07%, pelo que pode considerar-se que os resultados são bastante aceitáveis.

A elevada precisão dos modelos na classificação de conformidade/não conformidade valida a sua eficácia na previsão da alteração de cor resultante da realização de acabamentos com ambas as resinas testadas.

A possibilidade da aplicação destes modelos para esta gama específica de corantes revela-se particularmente interessante, uma vez que esta é atualmente, amplamente utilizada pela empresa para a abertura de cores em *pad-batch*. Além disso, os resultados obtidos na fase preliminar do estudo revelaram uma alteração de cor considerável para 10g/L, o que se manifestava particularmente preocupante em relação à aplicabilidade desta gama em concentrações de corante mais elevadas. Contudo, os desenvolvimentos destes modelos permitem ultrapassar algumas limitações nesse sentido.

Posto isto, é possível concluir que os modelos matemáticos desenvolvidos constituem uma ferramenta bastante interessante para a aplicação na empresa, uma vez que permitirão prever a alteração de cor promovida pelo acabamento imediatamente após a formulação da receita, permitindo uma diminuição significativa do número de reprocessamentos, o que se torna bastante vantajoso para a empresa, dado resultar numa economia de tempo e recursos.

Por fim, a aplicação prática destes modelos poderá contribuir para melhorar substancialmente não só a eficiência produtiva, mas também a qualidade dos produtos, considerando-se por isso uma ferramenta interessante que poderá contribuir para a inovação e o desenvolvimento da empresa.

4.2. Estudo da reprodutibilidade e comparação de processos entre laboratório e produção

A implementação de um novo processo produtivo é um desafio que pode trazer algumas adversidades. Neste sentido, não se pode considerar estranho que no decorrer da sua introdução tenham surgido problemas relacionados com a falta de reprodutibilidade da cor entre laboratório e produção, no tingimento por impregnação com corantes reativos. Assim, surgiu a necessidade de avaliar a extensão deste problema e perceber quais os fatores que poderão estar na sua origem.

Para avaliar a reprodutibilidade entre laboratório e produção, procedeu-se à comparação do ensaio de laboratório aprovado pelo cliente (*labdip*) com a respetiva amostra de produção, através de um espectrofotómetro, sendo registados os resultados na forma de desvios da cor da amostra em relação ao padrão (ΔE , ΔL , Δa e Δb).

Analizou-se um conjunto total de 100 amostras de tecidos tingidos provenientes da produção e comparou-se com os respetivos ensaios aprovados pelo cliente, concluindo-se que 51 das produções analisadas cumpriam os requisitos de cor estabelecidos. Contudo as restantes 49 produções, não cumpriam esses requisitos, necessitando de um reprocessamento posterior.

- Produções que cumpriam os requisitos de cor
- Produções que não cumpriam os requisitos de cor

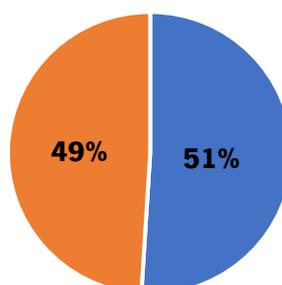


Figura 26- Percentagem de não conformidades obtidas pela Têxteis J.F.Almeida em processos *pad-batch*

Estes resultados revelaram-se bastante preocupantes, dado que, praticamente 50% das produções realizadas, não atendiam às especificações de cor estabelecidas, tornando o tingimento menos rentável e reduzindo drasticamente a produtividade, dado necessitar de um reprocessamento posterior. Face a estes resultados, surgiu a necessidade de aperfeiçoar o processo, sendo para isso realizados em laboratório um conjunto de ensaios destinados a avaliar os diferentes fatores influenciadores do processo de tingimento em *pad-batch* e conseqüentemente da cor resultante.

Nesta perspectiva, e com base na literatura disponível, conclui-se que a cor final do produto obtido pelo tingimento com corantes reativos pelo processo *pad-batch* pode ser afetada por vários parâmetros, nomeadamente, taxa de espessão, diretamente relacionada com a pressão e velocidade dos rolos espremedores, pH das soluções de tingimento, temperatura de maturação, tempo de maturação e condições de lavagem do substrato têxtil (Pinto, 2017) (Khatri, Memon, Khatri, & Tanwari, 2011).

Posto isto, um dos principais objetivos da presente dissertação centrou-se no estudo e análise crítica dos parâmetros identificados, com o intuito de diminuir o número de tingimentos não conformes e, conseqüentemente, aumentar a rentabilidade do processo.

4.2.1. Análise e comparação da Taxa de Humidade Residual dos substratos armazenados em laboratório e na produção

Através da análise da Tabela 13, é facilmente perceptível que as taxas de humidade residual dos tecidos armazenados em produção estão bastante próximas das taxas de humidade residual dos tecidos armazenados em laboratório, para todos os artigos analisados.

Ao comparar os tecidos de linho com os de algodão, é evidente que os tecidos de linho possuem um teor de humidade residual superior, o que é esperado, dada a natureza da fibra, uma vez que possui uma notável capacidade de absorção de água (Guimarães, 2014). No entanto, é importante destacar que esse aumento na taxa de recuperação de humidade é observado tanto na produção quanto no laboratório.

De entre todos os artigos submetidos à análise, o artigo 40X40|100X80 100% algodão mercerizado destacou-se por exibir a maior variação na taxa de humidade residual, registando uma variação de 0,64%, valor relativamente reduzido, o que demonstra uma consistência e estabilidade nas características de ambos os artigos.

Assim, face aos resultados obtidos, podemos descartar a humidade residual como sendo uma das causas das diferenças de tonalidade registadas entre os materiais tingidos no laboratório e na produção. Portanto, considera-se que os tecidos estão corretamente armazenados, garantindo pela sua parte uma uniformidade de resultados entre o laboratório e a produção.

Tabela 13- Taxa de humidade residual de artigos armazenados em laboratório e produção

Artigo	Taxa de Humidade Residual (%) – Produção	μ	Taxa de Humidade Residual (%) – Laboratório	μ
40X40 110X90 100%CO	5,92%	5,59%	6,00%	5,45%
	5,28%		5,09%	
	5,56%		5,26%	
26X26 58X40 100%CL	5,69%	5,96%	6,74%	6,22%
	6,37%		5,93%	
	5,81%		6,00%	
40X40 100X80 100% CO Mercerizado	5,30%	5,00%	5,62%	5,64%
	4,76%		5,97%	
	4,92%		5,34%	
15.3X15.3 58X40 100%CL	6,09%	5,90%	6,22%	6,18%
	5,73%		6,46%	
	5,89%		5,88%	
40X40 110X85 100%CO	5,38%	5,54%	6,42%	5,94%
	5,59%		5,70%	
	5,65%		5,70%	

4.2.2. Comparação das taxas de expressão utilizadas no laboratório e na produção

Com o objetivo de verificar se as taxas de expressão utilizadas no laboratório estavam em conformidade com as taxas de expressão aplicadas na produção, decidiu-se determinar todos os *pick-ups* de artigos que estavam programados para tingimento e cujas receitas estavam concluídas no laboratório.

Uma vez que, o *foulard* de produção possui um mecanismo que informa o *pick-up* ao longo do tingimento, tendo em consideração o volume total de banho absorvido e o número de metros de tecido tingido, considerou-se importante avaliar também se esse valor indicativo de taxa de expressão corresponderia ao valor real.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 14, permite perceber, que ocorreu uma variação entre a taxa de expressão aplicada no laboratório e a aplicada em produção, praticamente em todos os artigos analisados, podendo este ser um fator problemático que poderá estar na origem da falta de reprodutibilidade entre laboratório e produção.

Ademais, os resultados indicam uma inconsistência bastante significativa, entre o *pick-up* automático determinado pelo *foulard* de produção e o *pick-up* real determinado experimentalmente. Essa disparidade, associada ao facto de que em 3 das partidas analisadas, o *foulard* não ter sido capaz de determinar o *pick-up*, dado apresentar valores bastante inconstantes, torna o mecanismo ineficiente e impreciso, contrariamente àquilo que seria suposto.

Através de uma análise detalhada dos resultados obtidos, é possível concluir-se que os tecidos 40X40|100X80 100% CO, mercerizado e não mercerizado são os que apresentam uma maior consistência não só nos resultados que comparam o valor de *pick-up* do laboratório e o determinado experimentalmente na produção, mas também com o valor indicado pelo equipamento, apresentando uma variação entre 2% a 9%.

Pelo contrário, o artigo 40X40|110X90, 100% algodão mercerizado, foi um dos que apresentou uma das maiores variações na taxa de expressão, registando uma diferença máxima de 21%, especialmente no caso do tingimento da cor 0025B. Outra situação problemática surgiu durante o tingimento da cor 0045B, no tecido 15.3X15.3|58X40, 100% linho, com uma diferença de 14% na mesma comparação.

Posto isto, torna-se de extrema importância sensibilizar os técnicos responsáveis pela afinação da máquina da importância de ajustar corretamente a taxa de expressão a aplicar, uma vez que, se forem discrepantes, em relação às aplicadas no laboratório, originam uma maior ou menor absorção de corante pelo material e, conseqüentemente, comprometerão a tonalidade final. Este facto, origina partidas mais intensas, no caso de uma maior taxa de expressão, uma vez que o tecido terá a capacidade de absorver uma maior quantidade de banho, ou partidas menos intensas, devido a uma menor absorção da solução de tingimento, quando a taxa de expressão é inferior à pretendida.

No total de 15 tingimentos analisados, seis deles exigiram reprocessamento posterior, uma vez que a cor apresentava uma intensidade muito menor do que a aprovada nos ensaios de laboratório. Entre esses tingimentos, destacam-se as cores 0011L, 0045B, 0042B, 0031L e 0025B em ambas as situações. Diante destes resultados e considerando a discrepância nas taxas de expressão para estas

cores, pode inferir-se que a aplicação inadequada da taxa de expressão pode ser um dos fatores que está na origem da falta de reprodutibilidade entre o laboratório e a produção.

Os resultados obtidos reforçam também a ideia de que a taxa de expressão determinada pelo equipamento pode não corresponder à taxa de expressão real. Assim, apesar de o valor fornecido pelo equipamento estar bastante próximo do valor aplicado em laboratório, verificou-se que, a intensidade final da cor é significativamente inferior, à obtida no laboratório, o que valida os valores obtidos experimentalmente. Essa discrepância entre as medições reforça a importância de considerar a avaliação manual da taxa de expressão na afinação das máquinas da produção para garantir resultados mais coerentes.

Tabela 14- Taxas de expressão aplicadas a diferentes artigos em laboratório e produção

Artigo	Cor	Massa linear (g/m²)	Pick-up Laboratório	Pick-up fornecido pela Máquina	Pick-up Experimental
40X40 110X90 100%CO	0011L	120	68%	—	56%
	0044L	120		61%	
40X40 100X80 100%CO	0028L	110	69%	69%	61%
	0035C	110		67%	60%
15.3X15.3 58X40 100%CL	0045B	143	74%	76%	72%
	0045B	148		79%	60%
	0042B	143		82%	71%
26X26 58X40 100%CL	0031L	145	77%	80%	69%
40X40 100X80 100% CO Mercerizado	0016L	105	64%	63%	69%
	0006G	105		66%	60%
	0011E	109		69%	62%
40X40 110X90 100%CO Mercerizado	0029L	120	67%	—	71%
	0025B			60%	50%
	0019C			61%	81%
	0025B			61%	46%

4.2.3. Análise de pH da solução de tingimento utilizada na produção

Após a análise dos resultados apresentados na Tabela 15, torna-se evidente que não se registam diferenças significativas entre o pH no início do processo de tingimento e o pH no final do tingimento. Estes resultados permitem descartar a possibilidade de que as variações de cor entre o laboratório e a produção estejam relacionadas com o pH das soluções de tingimento.

Contudo, torna-se importante enfatizar que no caso específico da cor 0019C, ocorreu uma variação assinalável na comparação do pH do início e fim do tingimento. Todavia, das 12 amostras analisadas, esta foi a única situação que apresentou uma diferença significativa de pH.

Posto isto, a estabilidade do pH ao longo do processo de tingimento é um indicador de que os produtos auxiliares estão a ser introduzidos adequadamente na solução de tingimento, garantindo desta forma a uniformidade do tingimento e consequentemente a sua qualidade.

É, no entanto, importante salientar que para aumentar a viabilidade deste estudo, seria necessário recolher amostras não apenas no início e fim do processo, mas também ao longo de toda a produção. No entanto, devido a um mecanismo de segurança do *foulard* de produção, sempre que o balseiro que contém a solução de tingimento é aberto, a máquina é automaticamente interrompida, provocando consequentemente manchas no substrato têxtil ao longo de toda a largura do rolo. Posto isto, a recolha de um maior número de amostras apresentava limitações, optando-se por recorrer à recolha de uma amostra no início e final de cada tingimento.

Tabela 15- Valores de pH no início e final de cada partida de tingimento

Cor	pH inicial	pH final
0019C	12,04	10,94
0029L	11,52	11,13
0024B	10,88	10,82
0028L	11,33	10,96
0045B	12,10	12,07
0031I	12,13	12,09
0025B	11,30	10,96
0025B	11,13	11,00
0042B	11,16	11,34
0042B	11,38	11,35
0019C	12,06	11,45
0031L	11,75	11,55

4.2.4.Avaliação da Influência da Temperatura de Maturação no Processo de Tingimento em *Pad-Batch*

Este estudo pretendia verificar, se efetivamente as condições de maturação aplicadas no laboratório permitiam uma boa reprodutibilidade fase às condições existentes em ambiente produtivo. A produção não possui uma zona de maturação acondicionada, o que faz com que as temperaturas nas instalações estejam diretamente relacionadas com as condições atmosféricas exteriores. Dado que na zona de maturação podemos encontrar temperaturas que variam entre de 30°C a 40°C, optou-se pela colocação dos ensaios de laboratório numa estufa a 40°C, com o objetivo de reproduzir da forma mais semelhante possível as condições de maturação encontradas na produção.

Com base na análise da Tabela 16, pode concluir-se que, ao comparar as amostras maturadas no ambiente de produção com as maturadas na estufa de laboratório, não são observadas diferenças significativas entre ambas, uma vez que as alterações de cor registadas na maioria das amostras analisadas são pouco significativas.

Torna-se importante enfatizar, que as amostras de tonalidade clara registam a melhor reprodutibilidade nesta situação, apresentando alterações de cor que variam de 0,07 até 0,25 e que na sua generalidade as amostras maturadas na estufa apresentam uma tonalidade mais intensa quando comparadas com as amostras maturadas na produção.

Todavia, no caso específico do Verde 0046L, não se verificou a mesma consistência na reprodutibilidade, registando-se uma alteração de cor de 1,2. Neste sentido, a amostra maturada na estufa apresenta uma maior intensidade de cor, tal como as restantes amostras analisadas e uma tendência a tonalidades mais esverdeadas e amareladas.

Uma análise geral aos resultados obtidos permite concluir, que 66,67% das amostras maturadas em estufa de laboratório apresentam uma intensidade mais forte e um desvio na tonalidade para mais esverdeadas quando comparadas com as amostras que maturaram na produção. Contudo, face a estes resultados a metodologia aplicada é considerada eficaz, proporcionando uma boa reprodutibilidade entre o laboratório e a produção.

Tabela 16- Resultados colorimétricos à luz D65 da influência da temperatura no processo de maturação em *pad-batch*

Cor	Tonalidade	ΔL	Δa	Δb	ΔE (CMC)
Azul 5234	Clara	-0,25	0,06	-0,10	0,16
Verde 0016L	Média	0,21	-0,27	-0,06	0,31
Verde 0047L	Média	0,64	-0,01	0,28	0,44
Bege 0015C	Média	0,52	-0,14	-0,96	0,59
Terracota 1158	Média	-1,05	0,62	0,68	0,64
Kaki1159	Escura	0,43	-0,29	-0,64	0,78
Rosa 1234	Claro	-0,33	-0,05	0,03	0,15
Cinza 0015F	Média	-0,69	0,32	-0,18	0,54
Rosa T1815	Clara	-0,15	-0,01	0,03	0,07
Laranja 006G	Clara	-0,32	0,09	0,20	0,18
Azul 0024B	Clara	-0,59	-0,01	-0,04	0,25
Verde 0046L	Escura	-1.06	-0,18	1,14	1.24

4.2.5. Avaliação das condições em que são realizadas as lavagens finais do substrato têxtil

Com intuito de avaliar não só a eficácia do processo de lavagem em produção, mas também analisar se este proporcionaria os mesmos resultados que o ensaboamento realizado em laboratório, optou-se pela análise e comparação de dois grupos de amostras. As primeiras amostras foram retiradas, após maturação e antes da entrada na máquina de lavar enquanto as segundas foram recolhidas após lavagem e remoção do corante hidrolisado. Ambas as amostras foram comparadas com os ensaios de laboratório sob as mesmas condições, permitindo avaliar a eficácia do processo de lavagem dos substratos têxteis.

Foram analisados dezassete processos de lavagem e os resultados encontram-se registados na Tabela 17, permitindo comparar a alteração ao nível da intensidade de cor bem como ao nível da tonalidade das amostras ensaboadas e não ensaboadas.

Tabela 17-- Resultados colorimétricos à luz D65 relativos à eficácia do processo de lavagem

Cor	Partida	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E(CMC)$	ΔL	Δa	Δb	$\Delta E(CMC)$
		Antes de lavar	Antes de lavar	Antes de lavar	Antes de lavar	Depois de lavar	Depois de lavar	Depois de lavar	Depois de lavar
0014L	111618	2,38	0,25	1,33	1,42	2,62	0,31	1,34	1,55
0014L	111639	1,49	0,26	1,09	1,03	2,84	0,16	0,82	1,41
0003A	111641	1,24	-0,86	1,68	1,33	0,86	-0,43	-0,31	0,45
0025B	111623	1,20	-0,21	0,28	0,65	0,28	0,09	0,35	0,33
0032L	112182	2,56	0,96	1,00	1,73	1,92	1,02	1,47	1,88
0009A	112186	0,90	-0,09	0,99	0,69	0,35	0,68	0,53	0,74
0024B	111645	1,39	-0,08	0,63	0,92	3,35	-0,18	0,76	1,92
0027B	112183	1,93	0,02	1,23	1,42	1,06	0,07	1,54	1,43
0029B	112180	2,17	-0,36	1,46	1,40	1,44	-0,33	0,76	0,87
0011I	111628	0,38	0,50	0,92	0,88	0,70	-0,66	0,60	1,10
0011I	111644	0,27	0,65	1,12	1,05	0,39	-0,43	0,70	1,01
0007A	111565	0,83	-1,41	0,19	1,11	1,02	-1,79	-2,47	1,27
0024L	133271	0,37	0,16	0,71	0,82	0,28	0,18	0,60	0,73
0025L	111242	1,57	0,13	-0,68	0,75	1,87	0,28	0,05	0,80
0014I	111617	0,88	0,16	0,67	0,65	2,40	-1,08	0,67	1,42
0013C	111515	1,73	-0,70	1,07	1,68	-0,13	-0,04	1,62	1,31
0016B	110556	1,28	-0,01	0,97	1,25	1,19	0,26	1,03	1,29

Para a comparação e análise dos resultados obtidos, considerou-se como referência a amostra de laboratório, utilizando-a como padrão e a amostra recolhida na produção foi usada como amostra de partida.

Quando se analisa as amostras antes do ensaboamento, pode observar-se, em termos gerais, que a amostra de laboratório exibe consistentemente uma tonalidade mais intensa e uma tendência para tonalidades mais amareladas em comparação com a amostra da produção. No que se refere à variação da coordenada “a” (Δa), os resultados são pouco conclusivos, uma vez que algumas amostras demonstram uma inclinação para tonalidades mais esverdeadas, enquanto outras evidenciam uma tendência para tonalidades mais avermelhadas.

Ademais, quando se analisam as amostras ensaboadas, verifica-se que a tendência acima referida permanece, ou seja, as amostras demonstram uma inclinação para uma tonalidade mais intensa e amarelada, indicando que o processo de lavagem final do substrato não possui influência na alteração da tonalidade.

Entretanto, torna-se relevante destacar a existência de situações em que a comparação das amostras antes da lavagem é considerada conforme ($\Delta E < 1$), enquanto após a lavagem é considerada não conforme ($\Delta E > 1$), como ocorre nas cores 0024B e 0011L e 0014I. Estes resultados poderiam sugerir uma possível ineficiência do processo de lavagem devido à possibilidade de o corante hidrolisado não ser removido na sua totalidade. No entanto, é importante salientar que esse fenômeno foi observado em apenas três processos de lavagem, de entre todas as amostras analisadas, não sendo considerado um fator consistente para aumentar o número de não conformidades.

Contudo, existem situações em que acontece precisamente o oposto, ou seja, a amostra é considerada não conforme antes de lavagem, no entanto após lavagem é considerada como conforme, como sucede nas cores 0003A e 0029B. Este fenômeno pode ocorrer devido à existência de diferentes concentrações de corante hidrolisado nas amostras, originando tonalidades distintas antes da remoção do corante hidrolisado.

Em suma, a avaliação colorimétrica dos tecidos permitiu verificar que o processo de lavagem das amostras pode ser considerado eficaz e está em conformidade com os resultados obtidos em laboratório, podendo continuar a adotar-se esta metodologia na lavagem dos substratos têxteis tingidos.

4.2.6. Comparação da eficácia de diferentes detergentes no processo de lavagem

Dada a utilização de detergentes diferentes no processo de lavagem das amostras em produção, comparativamente ao laboratório, torna-se extremamente relevante perceber se estes possuem a mesma eficácia de lavagem, ou se pode ser um fator de influência na alteração de tonalidade, por proporcionarem uma lavagem mais ou menos eficaz, influenciando diretamente a percentagem de corante hidrolisado removido nas lavagens e conseqüentemente a tonalidade final do substrato.

Para realizar este estudo, selecionaram-se um conjunto de receitas de várias tonalidades, nomeadamente cores claras, médias e escuras, com o intuito de verificar se a eficácia dos detergentes poderia variar dependendo da tonalidade, especialmente em cores com uma maior concentração de corante, ou seja, se a eficácia do detergente estaria dependente da intensidade colorística. Posto isto, dos resultados apresentados na Tabela 18, correspondentes à comparação das amostras ensaboadas com os diferentes detergentes, é facilmente perceptível que não se registam diferenças de cor significativas nas doze amostras analisadas, independentemente da intensidade da cor.

Estes resultados permitem concluir, que efetivamente os detergentes possuem uma eficácia de lavagem semelhante, não produzindo alterações de cor significativas, dado que, o ΔE da comparação de ambas as amostras, regista valores compreendidos entre 0,09 e 0,17.

Tabela 18- Diferença de cor entre as amostras ensaboadas com os detergentes utilizados na produção e no laboratório

Cor	ΔL	Δa	Δb	ΔE
Azul 5234	0,11	0,04	-0,13	0,14
Rosa 1234	0,11	-0,13	-0,10	0,13
Lilas 4061	-0,19	0,05	-0,14	0,15
Bege 1151	0,16	0,07	0,02	0,12
Taupe 219	0,24	-0,07	-0,11	0,16
Rosa 0015I	-0,13	0,05	-0,02	0,09
Terracota 1158	-0,12	-0,02	-0,16	0,14
Kaki 1159	0,06	0,16	0,08	0,17
Rosa T1815	0,24	0,00	-0,08	0,13
Azul 5233	-0,25	-0,02	-0,03	0,11
Verde 0030L	-0,08	0,11	0,04	0,10
Rosa velho 2131	0,01	-0,15	-0,09	0,14

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste capítulo, procede-se à síntese das conclusões obtidas ao longo deste projeto, bem como à descrição das perspectivas futuras.

5.1. Conclusão

A realização deste projeto permitiu não só a seleção dos corantes mais aptos para aplicação por processos *pad-batch* e a avaliação da sua suscetibilidade a sofrer alteração de cor quando submetidos a acabamentos com resinas, mas também uma análise da reprodutibilidade entre laboratório e produção e um estudo dos potenciais parâmetros responsáveis pelas suas incongruências.

No que concerne à alteração de cor promovida por acabamentos com resinas, foi possível concluir que o aumento da concentração de corante de 1g/L para 10g/L encontra-se diretamente associado a aumento substancial da alteração de cor, independentemente da gama de corantes analisada e do tipo de acabamento aplicado.

Ademais, é possível constatar uma notória diferença entre os dois tipos de acabamentos utilizados, dado que o acabamento com resina isenta de formaldeído apresenta menores valores de ΔE , induzindo uma menor alteração de cor quando comparado com o acabamento com resina com baixo teor de formaldeído, para todas as gamas de corantes avaliadas.

Assim, de entre as três gamas de corantes analisadas, pode concluir-se que a gama *Everzol Lx*, é a que apresenta a maior alteração de cor, logo não é recomendado o uso desta gama de corantes, mesmo em concentrações mais reduzidas, revelando-se pouco adequada para processos de tingimento que requerem um acabamento posterior com resinas. Contrariamente, pode considerar-se que a gama *Remazol* é a que apresenta a menor alteração de cor, demonstrando ser perfeitamente adequada para aplicação em processos de tingimento por impregnação, que exigem um acabamento subsequente com resinas.

Por fim, a gama de corantes *Levafix CA* demonstrou resultados satisfatórios em termos de alteração de cor quando utilizada em concentrações mais baixas. No entanto, à medida que a concentração de corante aumenta, observa-se um aumento progressivo na alteração de cor, para ambos os acabamentos estudados. Face a estes resultados desenvolveram-se modelos matemáticos, que descrevem o comportamento da variação sofrida pelas coordenadas cromáticas L,a,b das amostras tingidas com esta gama de corantes, em função da concentração

de corante aplicada. Baseados nestes modelos foram posteriormente determinadas as diferenças de cor previsíveis pela aplicação dos corantes em tricromia, podendo concluir-se que os resultados obtidos são bastante satisfatórios, uma vez que permitiram prever com elevado rigor a probabilidade da obtenção de produtos não conformes após a realização de acabamentos com resinas.

A realização deste projeto permitiu também constatar que o tingimento com corantes reativos através de processos de impregnação, apresentou um elevado número de não conformidades, necessitando de um reprocessamento posterior, o que se tornava inconveniente para a empresa. Face a esta conclusão, procedeu-se à avaliação dos potenciais parâmetros responsáveis pelas variações detetadas, tais como: taxa de humidade residual dos tecidos, consistência do pH ao longo do processo de tingimento, correta aplicação das taxas de expressão e a eficiência do processo de lavagem, sendo para o efeito realizados um conjunto de ensaios laboratoriais e testes produtivos.

Desta análise, foi possível depreender uma aplicação inadequada das taxas de expressão, tendo como repercussão uma diferença significativa na intensidade colorística. Em contrapartida, os restantes parâmetros avaliados encontravam-se em conformidade, podendo ser descartados como possíveis fatores causadores das diferenças de tonalidade.

Em suma, a avaliação colorimétrica dos tecidos permitiu a identificação de ineficiências ao longo do processo produtivo e a procura de uma solução pertinente para a sua atenuação e ou eliminação, contribuindo assim para a diminuição do número de não conformidades bem como para o incremento da reprodutibilidade entre laboratório e produção.

5.2. Trabalhos Futuros

No que concerne às perspetivas futuras, no âmbito do desenvolvimento dos modelos matemáticos para previsão da alteração de cor após a realização de acabamentos com resinas, considera-se a necessidade de realizar tingimentos com concentrações mais elevadas de corante, com intuito de estender a sua aplicação a uma gama mais alargada de concentrações. Além disso, pode ser incluída uma série adicional de corantes frequentemente utilizados em conjunto com a gama de corantes analisada, com a finalidade de expandir a aplicabilidade do modelo, tornando-o válido para um conjunto mais diversificado de receitas.

Referências Bibliográficas

ABIT. (2015). *Manual Técnico Têxtil e Vestuário - N° 01 - Fibras Têxteis*.

Adrade, L. d. (2021). *Dossiê Técnico Corantes e Pigmentos*. Paraná: TECPAR.

Amorim, M. T., Silva, M. C., Corrêa, A. D., & Torres, J. A. (23 de janeiro de 2012). DESCOLORAÇÃO DE CORANTES INDUSTRIAIS E EFLUENTES TÊXTEIS SIMULADOS POR PEROXIDASE DE NABO. p. 889.

Antunes, M. I. (2019). *Hidrólise de corantes reativos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Guimarães. Obtido em 10 de janeiro de 2023, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/77775/1/Disserta%3a7%c3%a3o%20-%20Maria%20In%c3%aas%20S%20Antunes.pdf>

Araújo, S. P. (2019). *Avaliação da eficácia de diferentes estabilizadores do peróxido de hidrogénio no branqueamento de fibras celulósicas*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 12 de janeiro de 2023, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/73710/1/Disserta%3a7%c3%a3o%20bde%2bMestrado%2bSoraia%2bAra%c3%baajo.pdf>

Bastos, P. M. (2003). *Inferência de propriedades químicas do algodão através de técnicas de Data Mining*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Departamento de Sistemas de Informação, Azurém. Obtido em 22 de Dezembro de 2022, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/26318/1/Tese%20Infer%3AAncia%20de%20propriedades%20qu%C3%ADmicas%20do%20algod%C3%A3o%20atrav%C3%A9s%20de%20t%C3%A9cnicas%20de%20Data%20Mining.pdf>

Beltrame, L. T. (2006). *Sistemas Microemulsionados aplicados à remoção de cor de efluentes têxteis*. Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Engenharia Química. Obtido em 29 de Abril de 2023, de <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/15930/1/LeocadiaTCB.pdf>

Boaventura, L. D. (2018). *Análise de parâmetros que influenciam o tingimento por esgotamento com corantes reativos*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia química, Porto. Obtido em 3 de janeiro de 2023, de [file:///C:/Users/Asus/Downloads/DM_LuisBoaventura_2018_MEQ%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Asus/Downloads/DM_LuisBoaventura_2018_MEQ%20(1).pdf)

- Broadbent, A. D. (2001). *Basic Principles of Textile Coloration*. Canada: The Society of Dyers and Colourists.
- Castro, C. L. (2019). *Monitorização e otimização da cinética de tingimento de fibras celulósicas om corantes reativos polifuncionais*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 3 de janeiro de 2023, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/61698/1/Cristiano%2BTese%2BVers%C3%A3o%2Bcom%2BData.pdf>
- Costa, A. L. (2014). *Avaliação de Amaciadores para Uso na Indústria Têxtil*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 8 de Dezembro de 2022, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/35413/1/Ana%20Lu%c3%adsa%20Bobi%c3%a3o%20Costa.pdf>
- Durães, S. C. (outubro de 2020). *Corantes Reativos Para Fibras Celulósicas*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Engenharia Química. Obtido de [file:///C:/Users/Asus/Downloads/DM_SofiaDuraes_2020_MEQ%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/Asus/Downloads/DM_SofiaDuraes_2020_MEQ%20(5).pdf)
- Farooq, A., Irshad, F., Azeemi, R., & Iqba, N. (1 de Janeiro de 2021). PROGNOSTICATING THE SHADE CHANGE AFTER SOFTENER APPLICATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS. *21*, pp. 1-6. Obtido em 16 de Setembro de 2023, de [10.2478/aut-2020-0019](https://doi.org/10.2478/aut-2020-0019)
- Farooq, A., Irshad, F., Azeemi, R., & Nasir, M. N. (14 de setembro de 2020). Development of shade prediction system to quantify the shade change after crease recovery finish application using artificial neural networks. *The Journal of The Textile Institute*, 1-9. doi:<https://doi.org/10.1080/00405000.2020.1812921>
- Fernandes, J. P. (2019). *Otimização do tratamento prévio das fibras de cupro*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 30 de dezembro de 2022, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/73692/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20Jo%c3%a3o%20Pedro%20Morais%20Fernandes.pdf>
- Ferreira, A. S. (2019). *Otimização do processo de lavagem de corantes*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Gualtar. Obtido de

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/77769/1/Disserta%3%a7%c3%a3o%20-%20Andreia%20Sofia%20C%20Ferreira.pdf>

Ferreira, A. S. (2019). *Otimização do processo de lavagem de corantes*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Biológica . Obtido em 23 de janeiro de 2023, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/77769/1/Disserta%3%a7%c3%a3o%20-%20Andreia%20Sofia%20C%20Ferreira.pdf>

Ferreira, I. L. (2019). *TINGIMENTO DE TECIDO DE ALGODÃO COM CORANTES REATIVOS UTILIZANDO ÁGUA DO MAR*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio, Departamento de Engenharia Têxtil . Obtido de https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/27057/1/Tingimentotecidoalgod%C3%A3o_Ferreira_2019.pdf

Fibrenamics. (2023). *As Fibras: O que são e que tipos existem*. Obtido em 5 de Janeiro de 2023, de Fibrenamics: <https://www.fibrenamics.com/intelligence/reports/as-fibras-o-que-sao-e-que-tipos-existem>

Gomes, J. (s.d.). *Geocities*. Obtido em 9 de Janeiro de 2023, de Tingimento e Ultimação I -Curso Química da Qualidade: <http://www.geocities.ws/jnrgomes/Apontamentostingimento1.pdf>

Gomes, J. I. (2019). *Estudo comparativo de corantes reativos para algodão: gama standard versus ecológica, tingimento, controlo de qualidade e ensaios de solidez*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Ciências. Obtido em 15 de dezembro de 2022, de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/65436/1/8%2bDissertacao%2b33700.pdf>

Gonçalves, A. S. (2020). *Estudo dos Produtos da Degradação de corantes reativos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia . Obtido em 12 de dezembro de 2022, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/81062/1/Ana%20Sofia%20Jordao%20Mota%20Goncalves.pdf>

Gonçalves, M. E. (2019). *Estudo comparativo de duas gamas de corantes reativos polifuncionais*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 6 de dezembro de 2022, de

<https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/64796/1/Tese+final+Emilia+goncalves+s+estudo+comparativo+de+duas+gamas+de+corantes+reativos+polifuncionais.pdf>

Gonçalves, P. D. (2018). *Reprodutibilidade de tingimento com corantes reativos entre laboratório e produção*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Ciências. Obtido em 12 de dezembro de 2022

Gonçalves, R. A. (2017). *Otimização do tingimento de fibras de algodão com corantes reativos bifuncionais*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Têxtil. Obtido em 27 de abril de 2023, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/49564/3/Rogério%20Antonio%20Mendes%20Goncalves.pdf>

Gordon, S., & Hsieh, Y.-L. (2007). *Cotton: Science and technology*. Boca Raton: Woodhead publishing.

Guimarães, B. M. (2014). *Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae*. Dissertação de Mestrado, Universidade de S. Paulo, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, São Paulo. Obtido em 14 de setembro de 2023, de <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/100/100133/tde-22042014-230234/publico/DissertacaoCorrigidaBARBARA.pdf>

J. McLoughlin, S. H. (2015). Cotton fibre for denim manufacture. *Cotton fibre for denim manufacture*, pp. 17-18.

Khatri, Z., Memon, M. H., Khatri, A., & Tanwari, A. (5 de abril de 2011). Cold Pad-Batch dyeing method for cotton fabric dyeing with reactive dyes using ultrasonic energy. *Ultrasonics sonochemistry*. Obtido em 12 de janeiro de 2023

Koh, J. (2011). *Handbook of Textile and Industrial Dyeing*. South Korea: Woodhead Publishing Limited.

Kut, D., Orhan, M., & Gunesoglu, C. (3 de maio de 2006). Effect of the Particle Size of Finishing Chemicals on the Color Assessment of Treated Cotton Fabrics. *Journal of Applied Polymer Science*, 1-8. doi:10.1002/app.25621

Lima, S. S. (2016). *Desencolagem / Desengomagem*. Obtido de Docplayer: <https://docplayer.com.br/6261500-Desencolagem-desengomagem.html>

Mário de Araújo, E. d. (1984). *Manual de Engenharia Têxtil*. Lisboa : Fundação Calouste Gulbenkian.

- Pinto, C. C. (2017). *Otimização do processo de tingimento laboratorial na*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Química. Obtido em 5 de outubro de 2023
- Ribeiro, J. M. (2013). *Melhoria do Desempenho da Secção de Tingimento por Esgotamento de uma Empresa Têxtil*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia , Guimarães. Obtido em 16 de janeiro de 2023, de http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/25605/1/Dissertacao_JoaoRibeiro_2013.pdf
- Salem, V. (2010). *Tingimento Têxtil*. Edgard Blucher Ltda.
- Santos, L. (Janeiro de 2005). *Técnicas laboratoriais de tinturaria*. Obtido em 17 de janeiro de 2023, de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/60690/1/000077127.pdf>
- Silva, M. G. (2018). *Corantes Naturais no Tingimento e Acabamento Antimicrobiano e Anti-UV de Fibras Têxteis*. Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 30 de novembro de 2022, de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/56523/3/Tese%20Marcia%20Gomes%20da%20Silva.pdf>
- Sousa, M. J. (2016). *Estudo da Reprodutibilidade Laboratorial no Processo de Tingimento Têxtil*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Engenharia Química, Porto. Obtido em 15 de janeiro de 2023, de <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/89210/2/144368.pdf>
- Testertextile. (30 de março de 2022). *Processos de pré-tratamento de têxteis: Cingir, desengordurar, limpar, branquear, mercerizar ...* Obtido em 12 de janeiro de 2023, de Testex: <https://www.testertextile.com/pt/processos-de-pr%C3%A9-tratamento-de-t%C3%AAsxteis-chamuscando-desengorduramento-abras%C3%A3o-branqueamento-merceriza%C3%A7%C3%A3o/>
- Têxteis, D. M. (30 de junho de 2019). *4 razões para promover a inovação no setor têxtil*. Obtido de <https://www.deltamaquinastexteis.com.br/4-razoes-para-promover-a-inovacao-no-setor-textil/>
- Vančo, M., Krmela, J., & Pešlová, F. (2016). The use of PVD coating on natural textile fibers. *Procedia Rngineering*, 341-345. doi:10.1016/j.proeng.2016.01.220

Vilela, A. P. (2018). *Otimização do processo de tingimento pós confeção de artigos de algodão e linho com corantes reativos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Escola de Engenharia, Azurém. Obtido em 19 de dezembro de 2022, de http://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/57438/1/Dissertac_a_o_MQT_Paula_PG24886.pdf

Anexos

Anexo I- Propriedades das resinas aplicadas nos acabamentos

Tabela 19- Propriedades das resinas Arkofiz NZF New liq e Fixapret NDF liq c utilizadas no estudo

Propriedades	Arkofiz NZF New liq	Fixapret NDF liq c
Aparência	Líquido claro de baixa viscosidade	Líquido claro de baixa viscosidade
Carater químico	Dihidroxietileno ureia modificado	N-metil hidroxietileno ureia modificada
Reação	Ligeiramente ácido	Ligeiramente ácido
Densidade a 20°C	1,11g/cm ³	1,20g/cm ³
Solubilidade	Solúvel com água fria em qualquer proporção	Solúvel com água fria em qualquer proporção
Compatibilidade com outros produtos químicos	Geralmente compatível com outros produtos de acabamentos, como aditivos, amaciadores, agentes repelentes de água e branqueadores fluorescentes	Geralmente compatível com outros produtos de acabamentos, como aditivos, amaciadores, agentes repelentes de água e branqueadores fluorescentes
Estabilidade de armazenamento	Estável pelo menos 6 meses a 20°C	Estável a 40°C.
Estabilidade à temperatura	O produto cristaliza ou engrossa a temperaturas abaixo do ponto de congelamento, tornando-se novamente eficaz	O produto engrossa a temperaturas abaixo do ponto de congelamento, tornando-se novamente eficaz.

Anexo II- Propriedades de reagentes utilizados nos acabamentos

Tabela 20- Propriedades dos reagentes utilizados no estudo

Propriedades	Catalisador NKD liq	Ceralube PHD liq	Solusoft NMW liq c
Aparência	Líquido límpido incolor	Líquido branco a ligeiramente amarelado	Líquido incolor
Carater químico	Mistura de sais metálicos e ácidos orgânicos	Dispersão de polietileno	Microemulsão de Polissiloxano modificado
Carater iónico		Não iónico/ anfotérico	Não iónico
Densidade a 20°C	1,24g/cm ³	1,0g/cm ³	1,0g/cm ³
Solubilidade	Solúvel com água fria em qualquer proporção	Solúvel com água fria em qualquer proporção	Solúvel com água fria em qualquer proporção
Compatibilidade com outros produtos químicos	Geralmente compatível com amaciadores. Unicamente compatível com branqueadores óticos que são estáveis numa região de pH entre 3,5 e 5.	Compatível com produtos não iónicos, catiónicos, anfotéricos e resinas e catalisadores	Compatível com praticamente todos os produtos utilizados em acabamentos
Estabilidade de armazenamento	Pelo menos 1 ano. Não deve ser armazenado em embalagens de aço, uma vez que, o catalisador não diluído tem ação corrosiva sobre os metais	Estável pelo menos 12 meses a temperaturas abaixo dos 40°C	Estável pelo menos 12 meses a temperaturas abaixo dos 50°C.
Estabilidade à temperatura	Não sensível a baixas temperaturas; testado a -40°C	Estável a -15°C, por um curto período.	Sensível a baixas temperaturas
Outras propriedades		Não tem influência no grau de branqueamento de produtos óticos; não tem influência nas propriedades de solidez de produtos tingidos	

Anexo III- Determinação da quantidade de auxiliares de tingimento com base na gama de corantes utilizados



LRC - Anexo 21 - TABELA % CORANTE/AUXILIARES -

Código: LRC.ANEXO.21
Versão: 00
Data: 10-02-2023
Elaborado: LAB/DQ
Aprovado: ADM

4.2 TABELAS

4.2.1 TABELA 1 – PARA tela 100% CO / 100%LINHO / SUAS MISTURAS E MISTURAS COM POLIESTER/ACETATO/POLIAMIDA/ACRILICO

a) REMAZOL – METODO TROPICAL

%TOTAL DE CORANTE/ AUXILIARES	< 5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
SODA SOLVAY (g/L)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
SODA CÁUSTICA 50% (ml/L)	0.8	0.8	1.5	2.3	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	9.0	10.5	

b) LEVAFIX – METODO TROPICAL

%TOTAL DE CORANTE/ AUXILIARES	<1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
SODA SOLVAY (g/L)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
SODA CÁUSTICA 50% (ml/L)	0.2	0.5	1	1.5	2	2.9	3.6	4.2	4.9	5.6	6.3	7.0

c) SUNFIX

%TOTAL DE CORANTE/ AUXILIARES	< 5	0<10	<20	<30	<40	<50	<60	<=70				
SODA SOLVAY (g/L)	10	20	20	20	20	20	20	20				
SODA CÁUSTICA 50% (ml/L)		3	4	5	6.5	7.5	8.5	8.5				

d) EVERZOL

%TOTAL DE CORANTE/ AUXILIARES	< 5	0.25	0.49	0.75	1	1.5	2	2.5	3	4	5	>5
SAL/SULFATO DE SÓDIO(g/L)	10	10	20	25	30	35	40	50	60	65	70	80
SODA SOLVAY (g/L)	5	10	12	5	5	5	5	5	5	5	5	5
SODA CÁUSTICA 50% (ml/L)				0.75	0.9	1.1	1.30	1.5	1.7	1.7	1.9	2.1

e) JAKAZOL

%TOTAL DE CORANTE/ AUXILIARES	<1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
SODA SOLVAY (g/L)												

Figura 27- Quantidades de auxiliares de tingimento utilizada pela Têxteis J.F. Almeida S.A, em processos *pad-batch* dependendo da gama de corantes utilizada

Anexo IV- Protocolo de reprodução de cores utilizado pela Têxteis J. F. Almeida

JFA - FICHA DE REPRODUÇÃO DE CORES

Nº COR: [redacted] PED: [redacted]

COR: *Amarelo ultra RD*

REPETI [redacted] NOVA BASE ACERTO

FE [redacted] CRU COM ÓTICO

REMONTA URGENTE

DATA: *08/03/2023*

PROCESSO: *EPB*

ARTIGO: *100*

COMPOSIÇÃO: *100% PO*

CÓDIGO: *23/288*

LOCAL: *Be. Caixa 1*

CLIENTE:	Tempo Mat:	taxa exp							
[redacted]	<i>12H</i>	<i>82%</i>							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<i>AMARELO</i>	<i>14,5</i>								
<i>VERMELHO ULTRA RD</i>	<i>3,1</i>								
<i>AZUL COMARC RD</i>	<i>0,25</i>								
AUXILIARES DE REATIVOS (g/L)	<i>2</i>								
SODA SOLVAY (g/L)	<i>30</i>								
SODA CAUSTICA 50% (mL/L)	<i>4,5</i>								
Ph INICIAL	<i>11,83</i>								
TEMPERATURA (°C)									
PRESSÃO (Bar)	<i>2</i>								
VELOCIDADE (m/mim)	<i>2</i>								
DATA:	<i>08/03/23</i>								
MÁQUINA:	<i>7</i>								
ANALISTA:	<i>Francisco</i>								
LAVAGEM + NEUTRALIZAÇÃO: 0,5 g/L Ácido Acético									
ENSABOAMENTO 15 min 90°C : 1,0 g/L ADISPERSE ESN									

AMOSTRA PREPARAÇÃO: 

AMOSTRAS DOS ENSAIOS: 

OBSERVAÇÕES:

APROVADO:

APROVAÇÃO: CLIENTE INTERNA

Nº Ensaio(s):

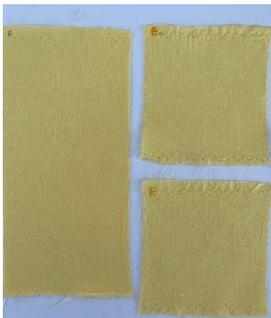
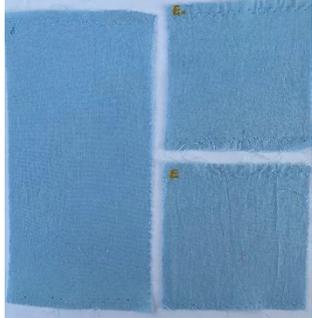
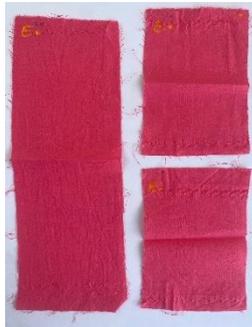
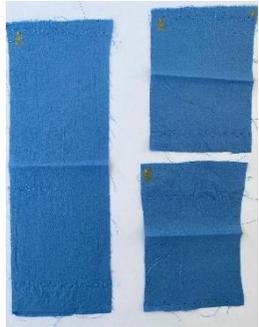
Data: / / R:

Mod 095/00

Figura 28- Protocolo de reprodução de cores em *pad-batch* pela Têxteis J. F. Almeida

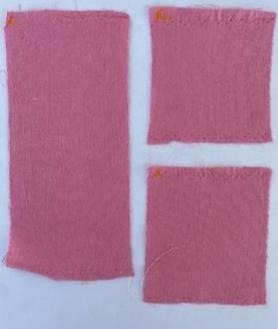
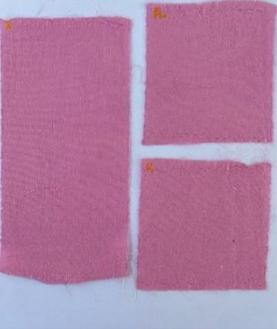
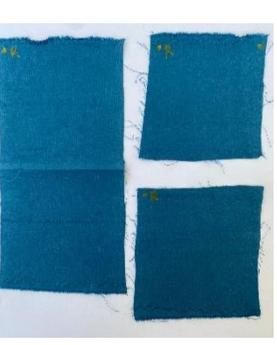
Anexo V- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Everzol quando submetidos a acabamentos com resinas

Tabela 21- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama *Everzol* quando submetidos a acabamentos com resinas

Amarelo Everzol LX	Vermeleho Everzol LFB	Vermelho Everzol LX	Azul Everzol LX
1g/L			
			
10g/L			
			

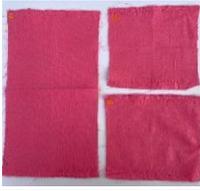
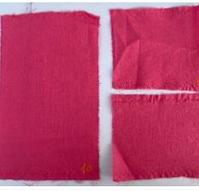
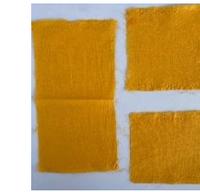
Anexo VI- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Remazol quando submetidos a acabamentos com resinas

Tabela 22- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da gama *Remazol* quando submetidos a acabamentos com resinas

Corantes Concentração	Amarelo Ultra RGBN	Vermelho Ultra RGB	Vermelho RGBN	Azul Corazol RD	Marinho RGB
1g/L					
10g/L					

AnexoVII- Alteração de cor registada nos corantes reativos da gama Levafix CA quando submetidos a acabamentos com resinas

Tabela 23- Resultados da alteração de cor registada nos corantes reativos da *gama Levafix CA* quando submetidos a acabamentos com resinas

Concentração Corantes	1g/L	4g/L	6g/L	8g/L	10g/L
Amarelo Levafix CA					
Vermelho Br. Levafix CA					
Amber Levafix CA-N					
Azul Levafix CA					

Anexo VIII- Resultados do modelo matemático para acabamentos com resinas isentas de formaldeído

Tabela 24-Comparação das diferenças de cor teóricas e reais das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos da gama Levafix CA e acabadas com resinas isentas de formaldeído

AMARELO LEV CA			AMBER LEV CA-N			VERMELHO LEV CA			AZUL LEVAFIX CA								
Δa	Δb	ΔL	$\Delta a2$	$\Delta b3$	$\Delta L4$	$\Delta a3$	$\Delta b4$	$\Delta L5$	$\Delta a4$	$\Delta b2$	$\Delta L2$	Δa_{total2}	Δb_{total3}	ΔL_{total4}	ΔE teórico	ΔE real	%erro
0	0	0	-0,052486	-0,656034	0,112928	0,490692	0,438176	0,136536	-0,05669	0,549038	-0,21305	-0,59986	0,33118	-0,18944	0,710917	0,426	65,8819
0	0	0	-0,196214	-0,547094	0,012672	-0,56193	0,38374	0,18874	-0,04681	0,572513	0,236307	-0,80496	0,409159	0,412375	0,992682	1,497	33,6886
0	0	0	-0,11053	-0,605555	-0,07244	-0,51597	0,41886	0,15506	-0,04504	0,590519	0,462789	-0,67154	0,403823	0,545409	0,95473	0,988	3,3674
0	0	0	-0,21418	-0,537264	-0,00014	0,667638	0,302964	0,266204	-0,05596	0,55005	-0,18765	-0,93778	0,31575	0,07841	0,992614	0,905	9,681052
0	0	0	-0,080126	-0,630901	0,093648	0,526311	0,410958	0,162638	-0,05678	0,548913	-0,21624	-0,66321	0,32897	-0,14725	0,754822	0,625	20,77151
0	0	0	-0,064924	-0,644478	0,104252	-0,53895	0,4013	0,1719	-0,05637	0,549478	-0,20191	-0,66024	0,3063	-0,13426	0,740111	0,834	11,25771
0	0	0	-0,27637	-0,509735	0,04324	-0,56193	0,38374	0,18874	-0,0502	0,5609	0,0445	-0,8885	0,434905	0,27648	1,02714	1,146	10,37177
0	0	0	-0,046958	-0,6613	0,116784	0,489198	0,4393174	0,135441	-0,05687	0,548789	-0,21943	-0,59303	0,326806	-0,20077	0,706252	0,624	13,18141
0,2403186	0,131784	-0,209601	0	0	0	0	0	0	-0,05535	0,550953	-0,16563	0,184967	0,682737	-0,37523	0,800714	0,765	4,668504
0	0	0	-0,022497	-0,685557	0,133847	0,482075	0,444761	0,130221	-0,06804	0,689272	1,038164	-0,57262	0,448476	1,034538	1,26463	1,1	14,96632
0	0	0	-0,114676	-0,602286	0,069548	0,514247	0,420177	0,153797	-0,05241	0,556003	-0,05228	-0,68133	0,373894	0,03197	0,777838	0,649	19,85175
0	0	0	-0,06216	-0,647011	-0,10618	0,499884	0,431152	0,143272	-0,04805	0,567332	0,156348	-0,61009	0,351473	0,19344	0,730181	0,807	9,519061

Anexo IX- Resultados do modelo matemático para acabamentos com resinas com baixo teor de formaldeído

Tabela 25- Comparação das diferenças de cor teóricas e reais das amostras tingidas com tricromias de corantes reativos da gama *Levafix CA e acabadas com resinas com baixo teor de formaldeído*

AMARELO LEV CA			AMBER LEV CA-N			VERMELHO LEV CA			AZUL LEVAFIX CA				ΔE TEO- RICO	ΔE REAL	%erro		
Δa	Δb	ΔL	Δa2	Δb3	ΔL4	Δa3	Δb4	ΔL5	Δa4	Δb2	ΔL2	Δatotal2				Δbtotal3	Δltotal4
0	0	0	- 0,29489	- 0,49658	-0,00353	- 0,35835	0,61134 8	0,07602 4	- 0,03833	0,13828 2	-0,02761	- 0,69157	0,25305	0,04488 6	0,73778	0,618	19,3818
0	0	0	- 0,44226	- 0,73661	0,09308 3	- 0,51036	0,54662	0,14906	- 0,04669	0,30224 9	0,20381	- 0,99931	0,11225 7	0,44595 3	1,100045	1,314	16,2827 5
0	0	0	- 0,35441	- 0,59628	0,03548 5	-0,4136	0,58838	0,10194	- 0,05332	0,38240 8	0,34265 9	- 0,82133	0,37451 2	0,48008 4	1,022409	1,283	20,3110 4
0	0	0	- 0,46068	-0,765	0,10516	- 0,71481	0,45057 2	0,25743 6	- 0,03868	0,14767 4	-0,01566	- 1,21417	-0,16676	0,34693 5	1,27373	1,124	13,3211 3
0	0	0	- 0,32323	- 0,54452	0,01504 7	- 0,43579	0,57898 4	0,11254 2	- 0,03829	0,13710 1	-0,0291	-0,7973	0,17156 4	0,09849 1	0,82148	0,962	14,6070 9
0	0	0	- 0,30764	- 0,51826	0,00482 8	- 0,46258	0,5675	0,1255	- 0,03848	0,14240 4	-0,02238	-0,8087	0,19164 5	0,10794 9	0,83808	0,818	2,45481 7
0	0	0	- 0,52445	- 0,86052	0,14696 5	- 0,51036	0,54662	0,14906	-0,0425	0,2329	0,0993	-1,0773	-0,081	0,39532 5	1,150403	1,227	6,24265 5
0	0	0	- 0,28922	- 0,48689	-0,00725	- 0,35504	0,61270 5	0,07449 3	- 0,03824	0,13591 8	-0,03059	- 0,68251	0,26173 3	0,03665 3	0,73189	0,793	7,70618 2
- 0,04961	- 0,65784	- 0,02729	0	0	0	0	0	0	- 0,03899	0,15580 9	-0,00521	-0,0886	-0,50203	-0,0325	0,510823	0,664	23,0688 7
0	0	0	- 0,26414	- 0,44361	-0,02369	- 0,33918	0,61917 8	0,06718 9	- 0,09093	0,56473 6	0,88611 1	- 0,69425	0,74030 9	0,92960 8	1,376304	1,213	13,4628 3
0	0	0	- 0,35866	- 0,60325	0,03827 2	- 0,40988	0,58994 6	0,10017 3	- 0,04076	0,19752 2	0,05003 1	- 0,80929	0,18421 3	0,18847 6	0,851126	0,828	2,79303 6
0	0	0	- 0,30481	- 0,51346	0,00297	- 0,37861	0,60299 6	0,08544 8	- 0,04481	0,27347 6	0,15902	- 0,72823	0,36301 6	0,24743 8	0,850484	0,91	6,54022 1

Anexo X- Determinação de taxas de espessão utilizadas no laboratório e na produção

Tabela 26- Comparação e determinação das taxas de espessão utilizadas no laboratório e na produção

Artigo	Massa linear g/m²	Cor	Pressão (bar)	Velocidade m/s	Pick-up lab	Pressão Esq-cent-direi	Velocidade m/min	Pick-up produção	Pick-up Máquina
40x40 110X90 100%CO	120	0011I	2	2	68%	15-18-15	30	56%	————
		0044I							61%
40X40 100X80 100%CO	110	0028L	2	2	69%	20-23-20	30	61%	69%
		0035C						60%	67%
15.3X15.3 58X4 0 100%CL	143	0045B	4	2	74%	20-23-20	25	72%	76%
	148	0042B						60%	79%
	143	0045B						71%	82%
26X26 58X40 100%CL	145	0031L	4	2	77%	20-23-20	25	69%	80%
40X40 100X80 100%CO Mercerizado	105	0016L	2	2	64%	20-23-20	30	69%	63%
	105	0006G						60%	66%
	109	0011E						62%	69%
40X40 110X90 100%CO Mercerizado	120	0029L	2	2	67%	20-23-20	30	71%	————
		0025B						50%	60%
		0019C						81%	61%
		0025B						46%	61%