



Redução de Desperdícios de Pasta de Estampagem no Setor Têxtil

LUÍS MANUEL DA SILVA ARCIPRESTE

outubro de 2020



Redução de Desperdícios de Pasta de Estampagem no Setor Têxtil

LUÍS MANUEL DA SILVA ARCIPRESTE

Outubro de 2020

Dissertação Submetida como Requisito Parcial para Obtenção do Grau de
Mestre em Engenharia Química, Ramo Opcional Qualidade

Redução de Desperdícios de Pasta de Estampagem no Setor Têxtil

Luís Manuel da Silva Arcipreste



Orientador Adalberto:

Eng.º Simão Oliveira

Orientadores ISEP:

Prof. Olga Freitas

Prof. Maria João Ramalhosa

Outubro/2020

Agradecimentos

Para a realização desta dissertação tenho a agradecer à empresa Adalberto por me ter proporcionado a realização deste estágio e à realização desta tese, mas nada disto seria possível sem o apoio do Eng.º Simão Oliveira e das Professoras Olgas Freitas e Maria João Ramalhosa, que sempre estiveram disponíveis para o auxílio necessário para a realização desta dissertação.

Para chegar aqui, percorri um longo caminho de 5 anos, onde nesse período existiram muitos altos e baixos, mas que foram sempre ultrapassados graças a pessoas extremamente importantes na minha vida.

Devo um agradecimento muito especial aos meus pais, por todo o apoio e sacrifício que fizeram para que eu pudesse chegar aqui, em que nunca me privaram de seguir os meus sonhos e sempre me apoiaram quando passava por momentos mais delicados.

Agradeço também a toda a minha família, que também me apoiou e teve sempre uma palavra de motivação para me dar quando a situação assim o pedia.

A todos os meus amigos que, apesar de o serem eu os considero como uma família, a todos os bons momentos passados, o meu muito obrigado.

Por fim, mas não menos importante, tenho a agradecer ao ISEP por me ter proporcionado os melhores 5 anos da minha vida, não só pelas vivências passadas, mas também pela extraordinária família que ganhei nesta instituição, nesta casa fiz amigos para a vida e daqueles que sei que poderei sempre contar com eles.

A todos os que eu referi, o meu muito obrigado.

Resumo

A indústria têxtil é uma das indústrias mais poluentes do mundo, por isso há uma procura constante para reduzir ao máximo a carga poluente deste setor.

Atualmente, muitas das empresas deste setor já possuem estações de tratamento próprias para tratar os efluentes gerados, mas nunca se consegue tratar completamente o efluente.

O trabalho desenvolvido surge da necessidade da empresa Adalberto diminuir um dos seus principais poluentes, as pastas de estampagem com pigmentos, produzidas para a produção dos estampados na secção da estamparia convencional, que contêm um conjunto de compostos químicos nocivos para o ambiente.

No âmbito deste trabalho foi também criada uma base de dados para a secção dos corantes reativos, de forma a minimizar as diferenças entre a cor pretendida e a cor obtida na produção, tornando o processo mais eficiente e diminuindo os desperdícios.

Com o objetivo de reduzir o desperdício de pasta, foram identificadas as variáveis na produção que mais afetam o consumo de pasta de estampagem numa estamparia, avaliando-se o seu impacto no processo de produção. As variáveis estudadas foram a *mesh* do cilindro, a velocidade de estampagem, o diâmetro da vareta e a viscosidade da pasta, concluindo que as variáveis que apresentam mais influencia são a *mesh* do cilindro, a velocidade de estampagem e o diâmetro da vareta.

Com base nos resultados de influência das diferentes variáveis foi possível desenvolver uma expressão matemática que permite prever o consumo de pasta de uma produção. Deste modo é possível diminuir o desperdício de pasta, baixando os custos do processo e reduzindo os desperdícios gerados.

Foi também criada uma base de dados para os corantes reativos, de forma a que seja possível produzir tintas em que não seja necessário efetuar correções de cor nestas, uma vez que também haverá desperdício com estes corantes.

Palavras-Chave: sector têxtil, pasta de estampagem, cor, desperdício.

Abstract

The textile industry is one of the most polluting industries in the world, so there is a constant demand to reduce the polluting load of this sector as much as possible.

Currently, many of the companies in this sector have already their own treatment plants to treat the generated effluents, but the effluent can never be completely treated.

The developed work arises from the need of the company Adalberto to reduce one of its main pollutants, the printing pastes with pigments, produced for the production of the prints in the section of conventional stamping, which contain a set of chemical compounds which are harmful to the environment.

Within the scope of this work, a database was also created for the section of reactive dyes, in order to minimize the differences between the desired colour and the colour obtained in the production, making the process more efficient in order to reduce the waste.

To reduce the waste of pulp, the variables in production that most affect the consumption of printing paste in a printing shop were identified, evaluating its impact on the production process.

The variables which were studied were the cylinder mesh, the embossing speed, the diameter of the rod and the viscosity of the paste, thus concluding that the variables which have the most influence are the cylinder mesh, the embossing speed and the diameter of the rod.

Based on the results of influence of the different variables, it was possible to develop a mathematical expression that makes it possible to predict the consumption of pulp in a certain production. In this way it is possible to reduce the waste of pulp, lowering the costs of the process and reducing the generated waste.

A database has also been created for reactive dyes, so that it is possible to produce paints in which it is not necessary to make colour corrections in them, since there will also be waste with these dyes.

Keywords: textile sector, printing paste, color, waste.

Índice

Resumo.....	v
Abstract	vii
Índice de Figuras	xi
Índice de Tabelas.....	xiii
Nomenclatura	xv
1. A Empresa	1
2. Estado da Arte	3
2.1. A origem da Estamparia Têxtil	3
2.2. Processo de Estamparia	3
2.2.1. Criação e Design	4
2.2.2. Separação de Cores	4
2.2.3. Gravura	4
2.2.4. Tratamento Prévio	5
2.2.5. Preparação da Pasta de Estampagem	6
2.2.6. Estampagem	7
2.2.7. Termofixação.....	9
2.3. A Cor	9
2.4. A Estamparia e o Impacto Ambiental	13
2.5 Objetivos	13
3. Redução de Desperdício de Pasta no Processo de Estampagem.....	15
3.1. Estudo do débito de pasta (90 dPa.s) em função do tipo de vareta e <i>mesh</i> do cilindro, para diferentes velocidades de estampagem	15
3.1.1. Artigo A	16
3.1.2. Artigo B	18
3.1.3 Artigo C	20
3.1.4 Artigo D.....	22

3.2. Estudo do débito de pasta (130 dPa.s) em função do tipo de vareta e <i>mesh</i> do cilindro, para diferentes velocidades de estampagem	25
3.2.1 Artigo A	25
3.2.2 Artigo B	28
3.3. Formulação da Equação para o Cálculo do Consumo de Pasta por Encomenda .	32
4. Desenvolvimento de uma base de dados para corantes reativos	39
4.1 Criação da base de dados	39
4.2. Ensaios teste para a avaliação da base de dados	43
5. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro.....	47
Bibliografia.....	49
Anexos.....	51

Índice de Figuras

Figura 2.1. Organograma do Processo de Estamparia	4
Figura 2.2. Quadro rotativo usado na estamparia têxtil ^[5]	5
Figura 2.3. Quadro plano usado na estamparia têxtil ^[6]	5
Figura 2.4. Espaço de cor CIELAB ^[12]	10
Figura 2.5. Espaço de cor CIELCh ^[17]	12
Figura 3.1. Débito de pasta gasta no artigo A para diferentes diâmetros da vareta e mesh dos cilindros, para a velocidade de 20 m/min.	18
Figura 3.1.4. Gráfico representativo do débito de pasta gasta por m ² no artigo B, em gramas, em função do diâmetro da vareta, em milímetros, para a velocidade de 20m/min.	19
Figura 3.3. Gráfico representativo do débito de pasta gasta por m ² no artigo C, em gramas, em função do diâmetro da vareta, em milímetros, para a velocidade de 20 m/min.	21
Figura 3.4. Gráfico representativo do débito de pasta gasta por m ² no artigo D, em gramas, em função do diâmetro da vareta, em milímetros, para a velocidade de 30 m/min.	23
Figura 3.5. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 155 à velocidade de 20m/min no artigo A.....	26
Figura 3.6. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 20m/min no artigo A.....	27
Figura 3.7. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 40m/min no artigo A.....	28
Figura 3.8. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 155 à velocidade de 20m/min no artigo B.....	29
Figura 3.9. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 155 à velocidade de 40m/min no artigo B.....	30
Figura 3.10. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 20m/min no artigo B.....	31
Figura 3.11. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 40m/min no artigo B.....	31
Figura 3.12. Variação do consumo de pasta em função da velocidade para diferentes meshes, para a vareta de 15 mm.....	34
Figura 4.1. Concentrações de corante utilizadas	40
Figura 4.2. Concentrações de corante utilizadas.	40

Figura 4.3. Variação do grau de amarelo (a) e do grau de vermelho (b) em função da variação da concentração de corante.	41
Figura 4.4. Variação da luminosidade (L) e da saturação (C) em função da variação da concentração de corante.....	41
Figura 4.5. Gráfico representativos dos triângulos fixos criados com os corantes inseridos na base de dados.	42
Figura 4.6. Gráfico representativos dos triângulos flexíveis criados com os corantes inseridos na base de dados.....	43
Figura 4.7. Cores selecionadas.	44

Índice de Tabelas

Tabela 3.1. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo A, para diferentes velocidades de estampagem, diâmetro da vareta e mesh do cilindro.	17
Tabela 3.2. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo B, para diferentes velocidades de estampagem, diâmetro da vareta e mesh do cilindro.	19
Tabela 3.3. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta por m ² artigo C, em gramas, para a velocidade de 20m/min.	21
Tabela 3.4. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta por m ² no tecido no 4º tecido, em gramas, para a velocidade de 20m/min.	23
Tabela 3.5. Condições experimentais para a obtenção dos débitos máximos e mínimos para os tecidos estudados.	24
Tabela 3.6. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo A, variando a velocidade de estampagem, a viscosidade da pasta, a mesh do cilindro e o diâmetro da vareta.	26
Tabela 3.7. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo B, variando a velocidade de estampagem, a viscosidade da pasta, a mesh do cilindro e o diâmetro da vareta.	29
Tabela 3.8. Equações das retas para as diferentes mesh, à velocidade de 20m/min.	33
Tabela 3.9. Equações correspondentes à influência da velocidade em função da mesh, para a vareta de 15mm.	34
Tabela 3.10. Valores da massa de enchimento do circuito das bombas das duas máquinas de estampar, em kg	35
Tabela 3.11. Valores relativos ao consumo das diferentes raclas das máquinas de estampar, em kg.	35
Tabela 4.1.. Valores relativos ao ΔL , Δa , Δb , ΔE , Δh e ΔCMC das cores selecionadas. ...	44
Tabela A.1. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 125 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m. ²	51
Tabela A.2. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 155 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m. ²	51
Tabela A.3. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 165 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m. ²	52

Tabela A.4. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 195 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m. ²	52
Tabela A.5. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 125 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m. ²	53
Tabela A.6. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 155 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m. ²	53
Tabela A.7. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 165 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m. ²	54
Tabela A.8. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 195 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m. ²	54
Tabela A.9. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 125 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m. ²	55
Tabela A.10. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 155 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m. ²	55
Tabela A.11. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 165 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m. ²	55
Tabela A.12. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 195 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m. ²	56

Nomenclatura

CIE - *Commission Internationale de l'Eclairage*

L – Luminosidade

a – Grau de vermelho

b – Grau de amarelo

ΔE – Diferença total de cor

h_{ab} - Tonalidade

C^*_{ab} - Saturação

CMC - Color Measurement Comittee

Y - Variação do consumo de pasta em relação ao valor base de viscosidade, em %

C - Consumo total de pasta, em kg

V – Equação correspondente à influência da vareta, em g/m²

v – Equação correspondente à influência da velocidade, em %

μ - Equação correspondente à influência da viscosidade, em %

L – Comprimento da encomenda, em m

l – Largura do artigo, em cm

% cobertura – Percentagem de cobertura da cor no desenho

b – Sobra de pasta num balde, em kg

B – Consumo do circuito da bomba, em kg

R – Consumo das Raclas, em kg

F – Fator corretivo, em %

1. A Empresa

Este projeto de dissertação foi realizado na empresa Adalberto, situada em Santo Tirso, cuja fundação data de 1969, sendo neste momento uma das maiores empresas do setor têxtil a nível nacional. É uma empresa que conta atualmente com cerca de 360 colaboradores nas diferentes secções, nomeadamente na tinturaria, estamparia convencional e digital e acabamento, o que faz com que a empresa se caracterize na indústria têxtil como uma empresa de ultimção.

Atualmente, a Adalberto é líder europeia na “arte” de estampar, tendo um volume de venda anual de cerca de 10000 quilómetros pelos 5 continentes. Não existindo capacidade de o mercado português absorver a produção, a empresa tem como principais mercados Espanha, França, Inglaterra e Alemanha, sendo a produção dividida em dois segmentos, moda e têxteis-lar ^[1].

As principais matérias primas utilizadas são as fibras de origem natural, correspondendo a mais de 90%, destacando-se o algodão, mas também o linho, a seda e as fibras sintéticas para artigos de banho e desporto.

A Adalberto possui uma marca própria designada de Gamanatura no segmento de têxteis-lar, cujo foco de vendas se situa no mercado Ibérico. Esta marca caracteriza-se pelos seus produtos serem constituídos apenas por fibras 100% naturais ^[1].

Devido à atual situação provocada pela pandemia de Covid-19, a Adalberto criou uma nova empresa, a AD TECH, que se dedica à produção e venda de máscaras reutilizáveis, muito conhecidas por serem máscaras certificadas internacionalmente pela OEKO-Tex, com capacidade de inativar o vírus responsável pela pandemia, através de um produto químico biodegradável ^[2].

2. Estado da Arte

2.1. A origem da Estamparia Têxtil

A estamparia têxtil é o mais importante e mais utilizado método de introdução de cor num tecido, utilizando-se para isso técnicas que permitam a aplicação de cor nos diferentes tecidos têxteis.

A origem do método de estamparia têxtil na Europa data do século XII, quando este método foi introduzido proveniente da Ásia, sendo que os maiores desenvolvimentos da estamparia tenham sido realizados com maior ênfase a partir do século XVII, nomeadamente em França. Com o passar dos anos, a estamparia ganhou uma importância comercial reconhecível a nível europeu, tendo sido então desenvolvidas indústrias com o seu foco associado a este método ^[3].

Atualmente, devido à forte concorrência existente no setor têxtil é necessária uma constante inovação dos produtos produzidos, de forma a manter o mercado já adquirido, como também potenciar a abertura a novos mercados.

2.2. Processo de Estamparia

O processo de estampagem de um tecido engloba um conjunto de etapas que estão esquematizadas na figura 2.1, de forma a garantir a qualidade do produto final.

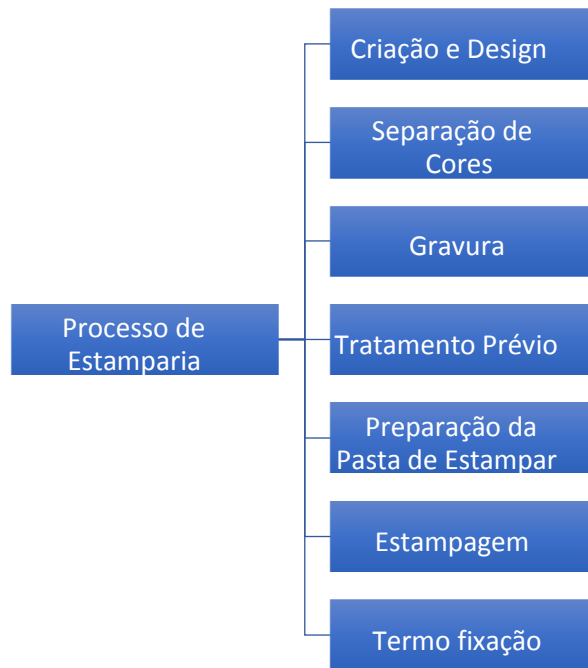


Figura 2.1. Organograma do Processo de Estamparia

2.2.1. Criação e Design

Nesta etapa do processo é criada a imagem a ser estampada, em que uma equipa especializada de design é responsável pela sua execução. Esta etapa é feita através de programas CAD, onde o criador é capaz de projetar as suas ideias facilmente.

2.2.2. Separação de Cores

Após a criação do desenho é necessário que haja uma separação das cores para que seja possível posteriormente estampar. Esta etapa também é feita com o auxílio de ferramentas informáticas CAD.

2.2.3. Gravura

Nesta etapa é feita a gravura dos quadros planos (Figura 2.2) ou dos quadros rotativos ou cilindros rotativos (Figura 2.3). As técnicas de gravura mais utilizadas são a técnica de fotogravura (técnica convencional) ou a gravura a laser.

A técnica de gravura a laser apresenta vantagens em termos ambientais em relação à fotogravura, uma vez que não há a necessidade de lavagens ^[4].

Os quadros rotativos são, por norma, cilindros de níquel. Já os quadros planos utilizam uma caixilharia onde é colada uma tela em poliéster. Em ambos, a gravura é feita utilizando-se uma emulsão fotossensível.



Figura 2.2. Quadro rotativo usado na estamparia têxtil [5]



Figura 2.3. Quadro plano usado na estamparia têxtil [6]

2.2.4. Tratamento Prévio

Antes do artigo seguir para estampar, necessita de tratamentos pois o tecido não vem do fornecedor pronto a ser estampado. De seguida faz-se uma pequena descrição aos diferentes tratamentos prévios existentes.

- **Gasagem:** Técnica que por queima elimina as fibras soltas que poderão existir no tecido [4].
- **Desencolagem:** Eliminação da goma do tecido que foi aplicada aos fios no processo de tecelagem [4].

- **Fervura:** Tratamento com uma solução de NaOH, a uma temperatura próxima do seu ponto de ebulição, para tornar o algodão hidrófilo ^[4].
- **Mercerização:** Consiste num tratamento em que se utiliza soda cáustica concentrada, com o objetivo de uniformizar a estrutura do fio de algodão. Com este tratamento consegue-se aumentar o rendimento colorístico e a estabilidade dimensional dos tecidos e das malhas ^[4].
- **Branqueamento:** Tem como objetivo eliminar a cor natural das fibras, preparando o artigo para os processos de ultimação que se seguem ^[4].
- **Termo fixação:** Tratamento que normalmente é aplicado a artigos com licra, sendo de elevada importância para favorecer a estabilidade dimensional, de forma a garantir uma largura constante do tecido ^[4].

2.2.5. Preparação da Pasta de Estampagem

As pastas de estampagem ao serem preparadas, devem ter uma viscosidade adequada, de forma a que não haja alastramento dos motivos do desenho, nem arrastamento dos desenhos na etapa de estampagem. Para satisfazer esta condição é adicionada à pasta um conjunto de componentes, nomeadamente espessantes, humectantes, ligantes, entre outros, com vista a promover a fixação das pastas nos tecidos.

A viscosidade das pastas varia consoante o tipo de tecido a ser estampado, o processo de estamparia e principalmente os motivos do desenho. Desta forma, controla-se a definição do desenho, a uniformidade de cor, a penetração da pasta no artigo e o espelho do artigo.

Os componentes utilizados na produção das pastas de estampagem são os seguintes:

- **Espessante:** Impede a migração dos corantes para zonas do tecido em que não se pretende estampar, ou para zonas já estampadas com outras

cores. Este componente é o principal responsável por um conjunto de características tais como viscosidade, boa penetração, bom rendimento e boa igualização.

- **Humectante:** Normalmente utilizado no processo de estampagem de corantes reativos, tem como objetivo conferir humidade à pasta aquando da vaporização, necessária para que haja uma reação do corante com as fibras com bom rendimento. O humectante mais utilizado é a ureia.
- **Ligante:** Responsável por fixar o pigmento ao artigo, deve ter um comportamento elástico para não dar um toque rígido, mas deve ser também resistente à abrasão.
- **Fixador:** Melhora a solidez à fricção a seco e a húmido nos estampados com pigmentos.

Alguns produtos são adicionados após a preparação da pasta mãe, tais como:

- **Pigmentos:** Substância insolúvel depositada à superfície da pasta que é fixada por um agente ligante. Têm uma aplicação bastante abrangente, uma vez que é de fácil aplicação e não necessita de sofrer vaporização para fixar.
- **Agentes Redutores:** No caso da estamparia por corrosão, utilizam-se estes agentes para corroer o corante do tecido, nos locais onde se deseja estampar. São também utilizados na lavagem dos estampados com corantes dispersos, eliminando o corante que não se fixou às fibras sintéticas.

2.2.6. Estampagem

O processo de estampagem pode ser efetuado de forma contínua ou descontínua, conforme o equipamento utilizado. Este processo é complexo e existem diversas variáveis associadas que afetam a qualidade do produto final. Também o tipo de estampagem pode ser diferente, tendo em conta o tipo de estampado desejado, as quantidades pretendidas ou o tipo de tecido a estampar ^[7].

Os processos mais comuns de estampagem são:

- ***Estampagem a cilindro rotativo:*** É um processo contínuo quando esta é feita ao metro.
- ***Estampagem a quadro:*** É um processo semi-contínuo quando se estampa ao metro ou descontínuo quando é feita à peça.

Estamparia a cilindro rotativo

Este processo, como já foi referido anteriormente, é utilizado quando a estampagem é feita a metro, ou seja, é produzida em grandes quantidades e não existe, portanto, a necessidade de as distinguir peça a peça. A estampagem é feita numa estampadora que pode ter a capacidade de 8 a 12 cilindros. Em cada cilindro vai ser introduzida uma racla por onde a pasta com uma determinada cor vai entrar e ser distribuída uniformemente no interior do cilindro. Por ação de uma vareta e pela força eletromagnética existente por baixo do tapete da estampadora, a pasta irá sair para o exterior do cilindro e, por conseguinte, estampar o tecido que passa sobre o tapete rolante.

O número de cilindros utilizados vai depender do número de cores do desenho a estampar. Para se definir o desenho no estampado é necessário alinhar os cilindros.

Existem vários tipos de cilindros, com larguras diferentes dos poros por onde a pasta passa. O número existente de poros por centímetro quadrado de área é designado de *mesh*. O facto de existirem cilindros com *meshs* diferentes deve-se à necessidade de se debitar mais ou menos pasta para o tecido, dependendo da definição do desenho. Uma melhor definição é conseguida quando se utiliza uma *mesh* mais alta.

Estamparia a Quadro Plano

O processo de estamparia a quadro é feito não com cilindros, mas sim com quadros de geometria quadrangular, em que a vareta é colocada por cima destes, e a pasta é colocada também por cima dos quadros, sendo a estampagem feita da mesma forma que a realizada com cilindro rotativo.

Como neste caso não existe uma racla, como na estampagem a cilindro rotativo, a colocação da pasta de estampagem tem de ser feita manualmente.

2.2.7. Termo fixação

Após a estampagem é necessário proceder a uma secagem para evitar que haja o alastramento da pasta no tecido. A Termo fixação é um processo térmico utilizado na estamparia com pigmentos, fazendo com que o ligante se fixe no exterior dos fios do artigo.

2.3. A Cor

A existência da cor surge como consequência de a visão humana ser capaz de captar a radiação eletromagnética numa gama de comprimentos de onda situada entre 380 nm e 760 nm e traduzir essa radiação em impulsos nervosos. Muitas vezes ao se questionar a diferentes indivíduos qual é a cor de um determinado objeto obtêm-se diferentes respostas. Isto acontece porque a cor não é uma realidade física, é sim uma resposta neurológica a uma radiação eletromagnética ^[8].

No entanto, para que exista cor é necessário satisfazer 3 condições. É necessário que exista uma fonte luminosa, ou iluminante, um objeto, onde o iluminante irá incidir e um observador, que irá captar a radiação refletida pelo objeto.

O iluminante é o responsável por emitir a radiação eletromagnética, mais conhecida por luz. Cada luz possui um espectro eletromagnético próprio e a escolha da fonte luminosa é importante para a percepção da cor de um objeto ^[9], sendo por isso classificada de acordo com as suas características. A Comissão Internacional de Iluminação (CIE – *Commission Internationale de l'Eclairage*) definiu alguns iluminantes com o objetivo de representar determinadas fontes de luz ^[10], em que os iluminantes mais utilizados são: A (luz incandescente média), D65 (luz do meio dia), TL84 (luz de loja), F (luz fluorescente) e Iluminante UV (luz ultravioleta).

O Metamerismo

O metamerismo é um fenómeno que ocorre quando perante um dado iluminante se tem duas cores que são iguais, mas, quando se altera o iluminante essas mesmas cores deixam de ser iguais. Isto ocorre quando duas cores apesar de serem diferentes, apresentam curvas de refletância em função do comprimento de onda muito idênticas para um determinado iluminante, o que pode induzir o observador em erro e é muito importante na indústria têxtil evitar ao máximo o metamerismo, através de caixas de luz, com vários iluminantes, sendo possível verificar o metamerismo da cor.

O Espaço CIELAB

O sistema CIE baseia-se em três elementos para a definição da percepção da cor, são eles o tom, a luminosidade e a saturação ^[11].

O espaço CIELAB é constituído por três eixos (Figura 2.4), o L^* , que representa a luminosidade, e que vai desde o valor de $L^*=0$ (preto) ao $L^*=100$ (branco), o eixo a^* que varia de $-a^*$ (verde) a $+a^*$ (vermelho) e o eixo b^* que varia de $-b^*$ (azul) a $+b^*$ (amarelo).

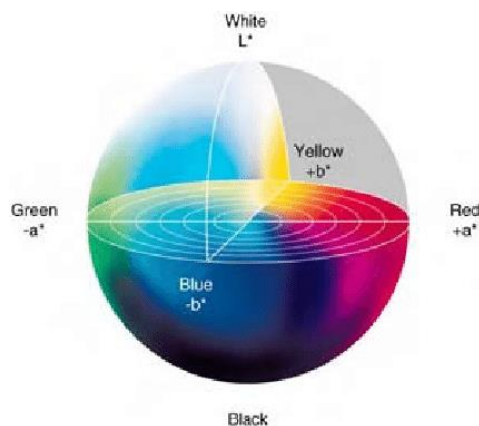


Figura 2.4. Espaço de cor CIELAB ^[12]

Com este modelo é possível comparar amostras de cor com amostras padrão, através das variações das coordenadas do espaço CIELAB.

A diferença total de cor (ΔE) entre a amostra e o padrão pode ser determinada através da equação 1 ^[13]:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (1)$$

onde, ΔL : variação de luminosidade; Δa : diferença medida no eixo “ a ” entre o vermelho e o verde; Δb : diferença medida no eixo “ b ” entre o azul e o amarelo.

Todas as parcelas da equação 1 podem ter valores positivos ou negativos, consoante o que já foi descrito anteriormente.

O Espaço CIELCh

O espaço CIELCh é um espaço que deriva do CIELAB, em que se mantém a coordenada L (luminosidade), mas transforma as restantes em C^*_{ab} (saturação) e h_{ab} (tonalidade), através das equações 2 e 3 ^[9].

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

$$h_{ab} = \arctan\left(\frac{a^*}{b^*}\right) \quad (3)$$

A coordenada C^*_{ab} ou saturação é definida como a distância ao centro, variando desde 0 a 85. Quanto mais aproximado do centro estiver, menor será a saturação e a cor será também mais suja, ou seja, menos nítida. Pelo contrário, à medida que o valor de saturação se afasta do centro, maior será a saturação e a cor também será mais limpa, ou seja, mais nítida ^[14].

A coordenada h_{ab} é o ângulo que define a tonalidade da cor. Quando o ângulo é de 0° a cor é vermelha, aos 90° a cor é amarela, aos 180° a cor é verde e quando o ângulo é de 270° a cor é azul (Figura 2.5) ^[16].

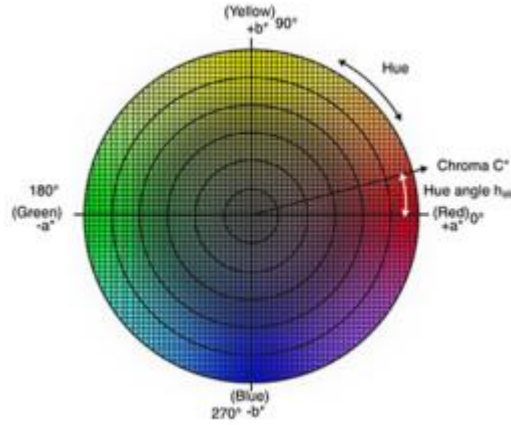


Figura 2.5. Espaço de cor CIELCh ^[17]

Sistema CMC

O Comité de Medição de Cores (Color Measurement Comittee, CMC), após vários estudos sobre a aceitação de lotes de produção, desenvolveu a equação CMC, ou equação de diferenças de cor ΔE^*_{CMC} , que calcula o volume de aceitação elítico no espaço de cor CIELCh e que é utilizada nos programas de software de controlo de qualidade de cores ^[18]. No entanto, esta equação implementa uma correção na diferença de cor, em que são adicionados os fatores corretivos c , S_c , S_h , l e S_L , como se apresenta na equação 4.

$$\Delta E^*_{CMC} = \sqrt{\left(\frac{\Delta C^*_{ab}}{c \times S_c}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h_{ab}}{S_h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta L^*}{l \times S_L}\right)^2} \quad (4)$$

O S_L , S_c e S_h são os principais fatores de ponderação para luminosidade, saturação e tonalidade. Os dois fatores l e c são constantes e são definidos pelo utilizador e ponderam a importância da luminosidade e da saturação em relação à tonalidade da cor medida ^[19].

Em que estes fatores corretivos dependem da localização de cor no espaço CIELCh ^[16].

2.4. A Estamparia e o Impacto Ambiental

A indústria têxtil é uma das indústrias mais poluentes. Anualmente em média são gerados nas estamparias cerca de 430 000 m³ de efluentes líquidos e cerca de 77 toneladas de lamas ^[7]. Por esta razão é que as empresas deste setor têm procurado cada vez mais alternativas, com o objetivo de reduzir ao máximo a quantidade de resíduos poluentes emitidos, não só por questões ambientais, mas também por questões económicas.

Para que se consiga uma redução significativa na geração de resíduos por parte das estamparias, é necessário conhecer o processo em si e verificar onde será mais vantajoso atuar, de forma a se conseguir essa redução.

A principal fonte de poluição neste setor da empresa são as pastas de estamparia, uma vez que possuem vários agentes tóxicos prejudiciais para o ambiente, o que torna necessário reduzir a utilização destes produtos ao máximo possível, sem que se perca a qualidade do estampado final desejado.

2.5 Objetivos

O presente projeto tem como objetivo reduzir o desperdício e a carga poluente no efluente da secção da estamparia. Para se conseguir isso foram realizados estudos com a finalidade de criar uma expressão matemática para o cálculo do consumo de pasta de estampagem por produção, para que produzam as pastas sem excesso. Também foi criada uma base de dados dos corantes reativos para que as tintas ao serem produzidas não tenham que ser corrigidas posteriormente.

3. Redução de Desperdício de Pasta no Processo de Estampagem

Neste capítulo é apresentado o trabalho desenvolvido no sector da estamparia tendo como objetivo a redução da carga poluente no efluente gerado nesta secção. Esta carga poluente é gerada em várias fases do processo de estampagem.

O estudo iniciou-se pelo cálculo do gasto médio por m² de pasta da secção estamparia, bem pelo levantamento diário da quantidade de sobras de pasta.

Durante este estudo analisou-se previamente as variáveis mais importantes no que diz respeito ao débito de pasta ao longo do processo de estampagem, destacando-se as seguintes:

- *mesh* do cilindro;
- velocidade de estampagem;
- viscosidade da pasta;
- diâmetro da vareta;
- tipo de tecido;
- força magnética aplicada.

Para quantificar a influência destas variáveis, foram realizados vários ensaios experimentais no sentido de perceber onde se poderá atuar, de forma a reduzir a quantidade de pasta no efluente e assim chegar ao objetivo pretendido.

3.1. Estudo do débito de pasta (90 dPa.s) em função do tipo de vareta e *mesh* do cilindro, para diferentes velocidades de estampagem

Este estudo foi feito para perceber qual o efeito no débito de pasta quando se varia a da velocidade de estampagem (20, 30 e 40 m/min.), o diâmetro da vareta (10, 12,15 e 20 mm) e a *mesh* do cilindro (125, 155, 165 e 195). A viscosidade da pasta utilizada é de 90 dPa.s.

Foram realizados ensaios experimentais em tecidos 100% algodão de 4 tipos diferentes, tela (A), malha com relevo (B), malha sem relevo (C), tela mercerizada (D).

Os ensaios foram feitos com pasta de pigmentos com uma viscosidade de 90 dPa.s. O processo experimental consistiu em cortar tiras de artigo com as dimensões 130×70 cm de forma a cobrir a mesa onde os ensaios foram realizados. Na zona mais distante da mesa de ensaios cada tira foi cortada em quadrados com as dimensões 29×29 cm, pois o cilindro nesta zona da mesa já está coberto na sua totalidade pela pasta de estampagem.

Cada quadrado foi pesado antes e depois de estampado, obtendo-se a massa de pasta gasta nessa área de artigo, o que permite estimar o gasto aproximado para 1m² de tecido.

3.1.1. Artigo A

Na tabela 3.1 encontram-se os valores das médias dos resultados dos 3 ensaios realizados do débito de pasta para o artigo A, que é uma tela 100% algodão, para as velocidades de 20, 30 e 40 m/min, variando a *mesh* do cilindro e o diâmetro da vareta. Os valores correspondentes aos resultados individuais dos 3 ensaios encontram-se no anexo A.

Tabela 3.1. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo A, para diferentes velocidades de estampagem, diâmetro da vareta e mesh do cilindro.

	Velocidade (m/min)	Mesh 125	Mesh 155	Mesh 165	Mesh 195
Diâmetro da vareta (mm)		Débito de pasta (g/m ²)			
10	20	86,12±3,73	67,38±3,23	88,88±0,42	69,12±2,67
12		91,67±2,48	75,39±3,01	96,31±0,16	75,86±1,48
15		99,99±1,94	87,91±3,55	104,28±0,16	88,82±2,14
20		113,86±0,10	100,91±2,36	115,70±0,67	101,59±1,55
10	30	82,28±3,08	66,55±3,93	86,62±0,08	66,43±4,04
12		87,67±4,02	73,68±2,16	95,72±0,16	74,47±1,50
15		96,43±7,16	84,07±1,32	103,09±0,33	84,50±0,99
20		107,49±7,80	96,67±2,37	115,52±0,42	99,05±4,55
10	40	81,41±3,82	65,83±3,91	84,90±0,16	67,18±5,57
12		84,58±3,98	71,86±1,89	93,52±1,09	72,26±1,55
15		92,43±6,84	82,68±1,37	101,49±0,42	82,40±0,54
20		105,87±9,58	93,22±0,66	113,26±0,42	96,91±4,06

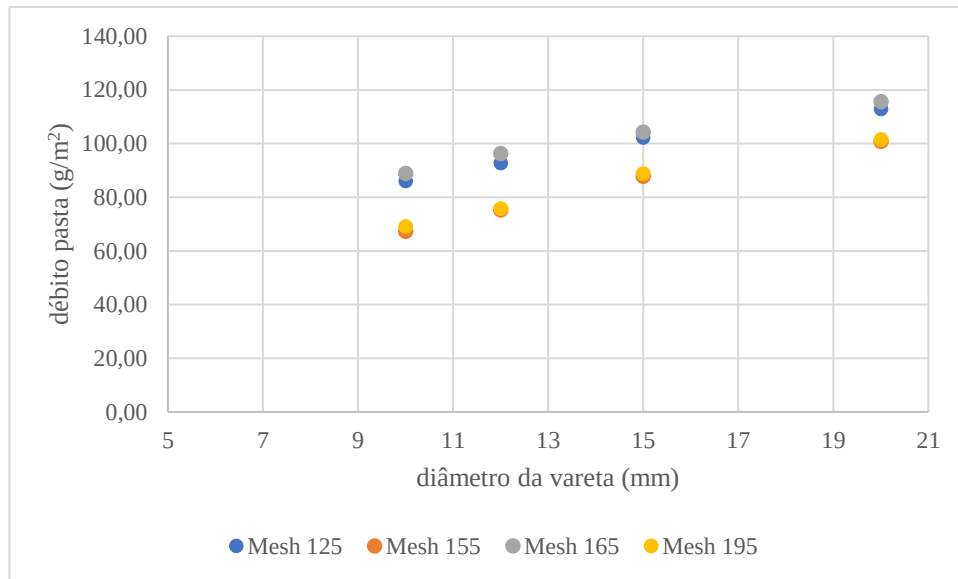


Figura 3.1. Débito de pasta gasta no artigo A para diferentes diâmetros da vareta e mesh dos cilindros, para a velocidade de 20 m/min.

No artigo A verificou-se que o aumento da velocidade proporciona uma redução no débito de pasta, para todas as *mesh* analisadas (Tabela 3.1). Mas ao mesmo tempo acontece uma subida de débito de pasta com o aumento do diâmetro da vareta (Figura 3.1.). As *mesh* que mais debitam pasta são as *mesh* 125 e 165, pois são aquelas que apresentam uma maior área aberta. Os valores de débito de pasta estão compreendidos entre 65,83 e 115,70 g/m² de tecido e correspondem aos ensaios realizados na *mesh* 155 com a vareta de 10 mm à velocidade de 40 m/min e na *mesh* 165 com a vareta de 20 mm à velocidade de 20 m/min, respetivamente.

3.1.2. Artigo B

Na tabela 3.2, são apresentados os valores de débito de pasta para uma malha com relevo designada de artigo B.

Tabela 3.2. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo B, para diferentes velocidades de estampagem, diâmetro da vareta e mesh do cilindro.

	Velocidade (m/min)	Mesh 125	Mesh 155	Mesh 165	Mesh 195
Diâmetro da vareta (mm)		Débito de pasta (g/m ²)			
10	20	91,32	67,54	87,75	62,43
12		105,35	81,09	111,41	77,41
15		126,04	103,92	133,77	101,07
20		150,06	123,19	160,76	126,52
10	30	85,85	64,80	86,21	59,81
12		103,33	79,19	102,50	77,53
15		120,45	98,10	126,52	100,12
20		145,07	118,79	154,22	123,90
10	40	83,47	63,97	79,55	56,12
12		100,59	75,86	100,71	74,08
15		117,84	94,89	122,47	95,72
20		140,78	114,39	145,54	118,79

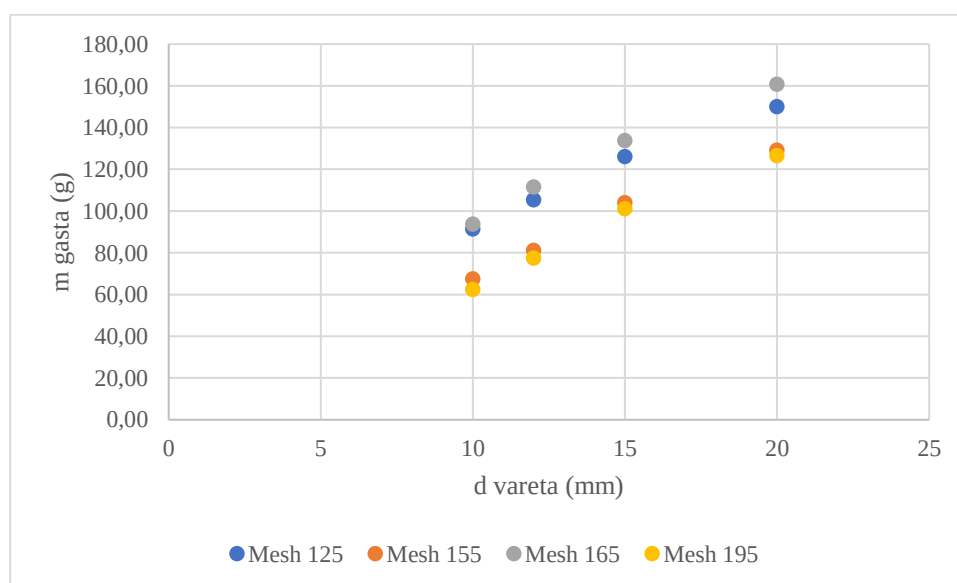


Figura 3.1.4. Gráfico representativo do débito de pasta gasta por m² no artigo B, em gramas, em função do diâmetro da vareta, em milímetros, para a velocidade de 20m/min.

No artigo B (malha sem relevo) verificou-se a mesma tendência de redução do débito de pasta com o aumento da velocidade de estampagem para as 4 *mesh* analisadas (Figura 3.2.). Os valores de débito obtidos para este artigo são superiores aos obtidos com o artigo A, visto ratar-se de uma malha, apresentando por isso uma maior capacidade de absorção da pasta. Novamente as *mesh* 125 e 165 voltam a ser as que apresentam maiores gastos de pasta (Tabela 3.2.). Dos quatro artigos estudados é o que tem maiores gastos de pasta, sendo o seu valor máximo obtido experimentalmente de 160,76 g/m² de malha no ensaio realizado à velocidade de 20 m/min na *mesh* 165, com a vareta de 20 mm e o seu valor mínimo de 56,12 g/m² no ensaio realizado à velocidade de 40 m/min na *mesh* 195, com a vareta de 10 mm.

3.1.3 Artigo C

A tabela 3.3 apresenta os resultados obtidos para o artigo C, que se trata de uma malha sem relevo.

Tabela 3.3. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo C, para diferentes velocidades de estampagem, diâmetro da vareta e mesh do cilindro

	Velocidade (m/min)	Mesh 125	Mesh 155	Mesh 165	Mesh 195
Diâmetro da vareta (mm)		Débito de pasta (g/m ²)			
10	20	84,66	63,02	74,79	65,28
12		88,82	74,08	89,06	75,62
15		100,12	81,09	101,31	85,14
20		113,44	103,57	112,25	104,64
10	30	78,00	59,33	71,70	59,69
12		86,92	67,18	86,92	68,13
15		96,55	80,14	97,38	79,55
20		111,65	93,10	108,80	95,12
10	40	79,67	54,70	71,46	58,98
12		86,80	63,61	79,67	64,68
15		96,67	74,55	94,89	77,05
20		107,85	87,63	110,11	93,34

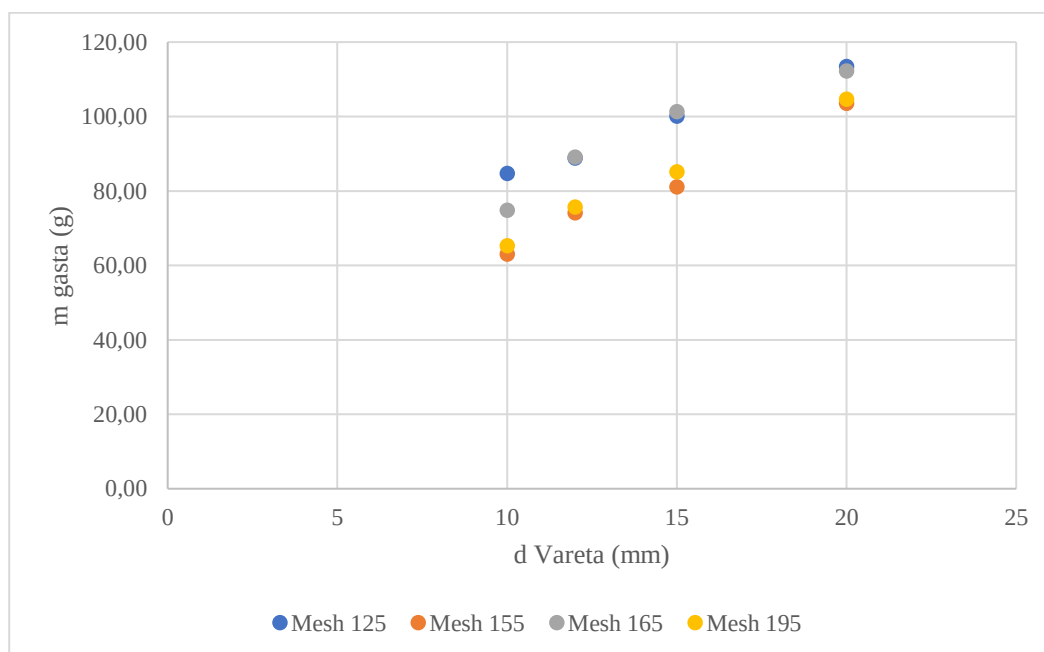


Figura 3.3. Gráfico representativo do débito de pasta gasta por m² no artigo C, em gramas, em função do diâmetro da vareta, em milímetros, para a velocidade de 20 m/min.

Para o artigo C, também se verifica a redução de gasto de pasta com o aumento da velocidade de estampagem (Tabela 3.3). As *mesh* 125 e 165 são as que gastam mais pasta de estampagem para todas as velocidades estudadas (Figura 3.3), tal como se verificou nos dois artigos estudados anteriormente. Apesar de se tratar de uma malha 100% algodão, tal como o artigo B, apresenta aumentos de débito de pasta idênticos para as 4 *mesh* analisadas. Os valores de débito obtidos com o artigo C são análogos aos valores obtidos para o artigo A (tela 100% algodão). O valor máximo obtido foi de 113,44 g/ m² no ensaio efetuado para *mesh* 125 com a vareta de 20 mm, à velocidade de 20 m/min (Tabela 3.3), contrariamente ao verificado nos dois artigos estudados anteriormente (A e B). O valor de débito mínimo obtido foi de 54,70 g/m² no ensaio efetuado na *mesh* 155 com a vareta de 10mm, à velocidade de 40m/min (Tabela 3.3).

3.1.4 Artigo D

A tabela 3.4 resume os resultados obtidos para o artigo D, que é uma tela 100% algodão, mas mercerizada.

Tabela 3.4. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo D, para diferentes velocidades de estampagem, diâmetro da vareta e mesh do cilindro

	Velocidade (m/min)	Mesh 125	Mesh 155	Mesh 165	Mesh 195
Diâmetro da vareta (mm)		Débito de pasta (g/m ²)			
10	20	60,17	52,68	60,40	55,89
12		53,75	53,86	60,76	56,00
15		61,36	58,38	65,40	60,29
20		65,04	60,64	69,32	65,04
10	30	57,67	51,61	60,17	56,48
12		55,89	53,63	62,19	56,96
15		59,81	56,36	66,47	62,19
20		61,71	60,17	69,56	66,11
10	40	54,93	51,84	60,52	55,17
12		54,82	52,44	62,66	56,24
15		58,98	54,82	65,64	59,22
20		60,29	59,93	68,37	62,90

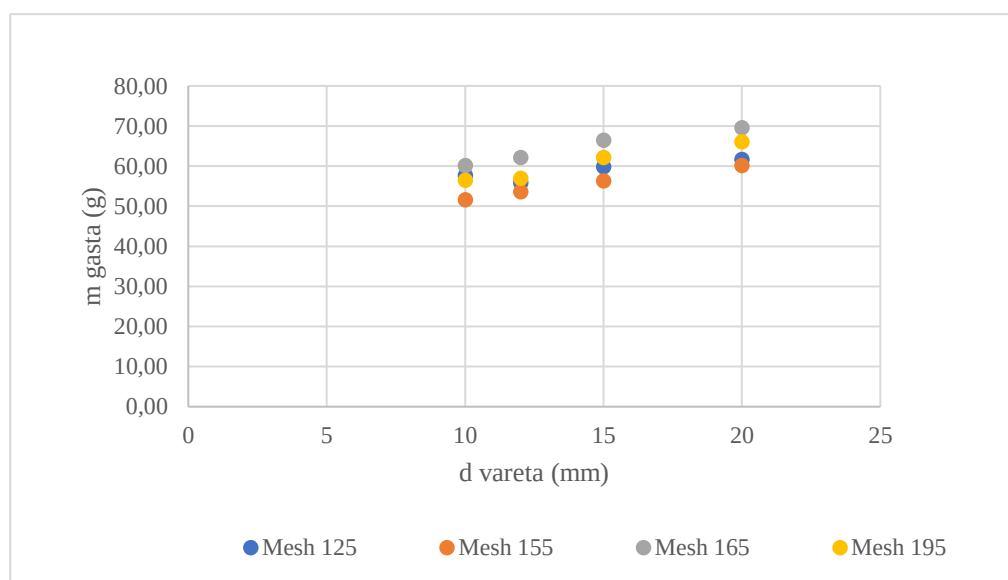


Figura 3.4. Gráfico representativo do débito de pasta gasta por m² no artigo D, em gramas, em função do diâmetro da vareta, em milímetros, para a velocidade de 30 m/min.

No artigo D existem variações não muito significativas (variação entre o débito máximo e mínimo é de 17,95 g/m²) no débito de pasta com a variação das diferentes variáveis em estudo. Verificou-se que existe uma variação no valor do débito para a mesh

125, tendo havido sempre uma diminuição deste débito de pasta face aos ensaios realizados com a vareta de 10 mm. Para confirmar esta tendência foram realizadas várias repetições, com a *mesh* 125, nomeadamente quando se utilizou a vareta de 12 mm.

A *mesh* 125 não é para este artigo aquela que debita mais tinta, tal como se verificou nos artigos anteriormente analisados. Para este artigo as *meshs* que debitaram mais pasta foram a 195 e a 165. O valor máximo obtido foi de 69,56 g/m² no ensaio realizado na *mesh* 165 com a vareta de 20 mm, à velocidade de 30 m/min e o valor mínimo obtido foi de 51,61 g/m² para a *mesh* 155 com a vareta de 10 mm, à velocidade de 30 m/min (Tabela 3.4). O facto de os valores máximo e mínimo terem sido obtidos nesta velocidade (30 m/min) demonstram as diversas variações existentes na estampagem deste artigo.

Através da análise destes quatro artigos (A, B, C e D, Tabela 3.5) pode-se concluir que, para a velocidade de 20 m/min, é gasta mais pasta quando se utiliza em conjunto o cilindro de *mesh* 165 e a vareta de diâmetro 20 mm, enquanto que os menores valores de consumo foram registados quando se usam os cilindros de *meshs* 155 com a vareta de diâmetro 10 mm à velocidade de 40 m/min nos primeiros 3 artigos estudados (A, B e C). O mesmo acontece para o artigo D, já que esses valores foram registados à velocidade de 30 m/min e para além disso os resultados obtidos na generalidade neste artigo apresentam variações que não se verificam nos restantes.

Tabela 3.5. Condições experimentais para a obtenção dos débitos máximos e mínimos para os tecidos estudados

Tecidos	Débito mínimo (g/m ²) <i>Mesh/vareta/velocidade</i>	Débito máximo (g/m ²) <i>Mesh/vareta/velocidade</i>
A	155/10 mm/40 m/min	165/20mm/20m/min
B	195/10 mm/40 m/min	165/20mm/20m/min
C	155/10mm/40m/min	165/20mm/20m/min
D	155/10mm/40m/min	165/20mm/30m/min

3.2. Estudo do débito de pasta (130 dPa.s) em função do tipo de vareta e *mesh* do cilindro, para diferentes velocidades de estampagem

Para se poder quantificar o débito de pasta, também é necessário saber o efeito que a viscosidade da pasta de estampagem terá no gasto da mesma. Portanto, foram feitos ensaios nos artigos A e B. Foram escolhidos estes artigos por se tratar de uma tela e de uma malha, ambas 100% algodão e também por serem os artigos mais utilizados.

Foram então realizados ensaios em que se utilizou uma pasta com viscosidade de 130 dPa.s nas *mesh* 155 e 165, pois foram as que apresentaram os valores máximos e mínimos de débito no estudo anteriormente realizado e por serem tipos de *mesh* diferentes, pois a forma dos furos dos cilindros são diferentes.

Estes ensaios foram reunidos com os ensaios realizados anteriormente com viscosidade de 90 dPa.s.

3.2.1 Artigo A

A tabela 3.6 e as figuras 3.5, 3.6 e 3.7 apresentam os valores obtidos para o artigo A com a *mesh* 155 e 165, para as velocidades de 20 e 40 m/min.

Tabela 3.6. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo A, variando a velocidade de estampagem, a viscosidade da pasta, a mesh do cilindro e o diâmetro da vareta.

	Velocidade (m/min)	Viscosidade (dPa.s)	Diâmetro da vareta (mm)			
			10	12	15	20
Mesh			Débito de pasta (g/m ²)			
155	20	90	67,38	75,39	87,91	100,91
		130	67,06	76,69	87,51	97,86
	40	90	65,83	71,86	82,68	93,22
		130	60,52	69,32	82,16	92,15
165	20	90	88,88	96,31	104,28	115,70
		130	81,57	90,73	99,88	108,56
	40	90	84,90	93,52	101,49	113,26
		130	78,36	86,80	97,74	112,01

À velocidade de 20 m/min e utilizando a *mesh* 155, o aumento da viscosidade não interfere no débito de pasta, apenas há a registar a variação existente quando se comparam os valores registados na vareta de 20 mm, em que há uma diminuição 3,05 g/m² quando a viscosidade é de 130 dPa.s (Figura 3.5).

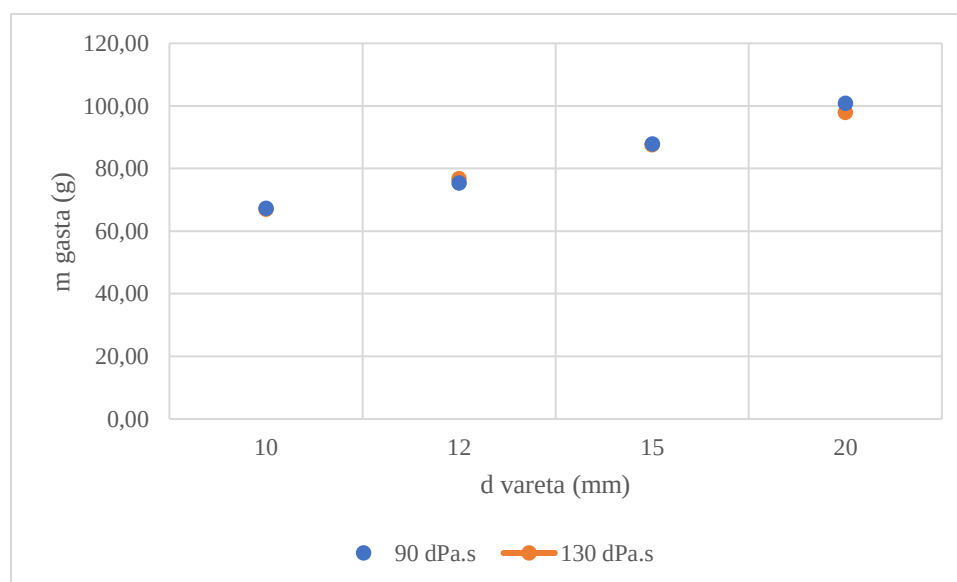


Figura 3.5. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na *mesh* 155 à velocidade de 20m/min no artigo A.

Com a mudança de velocidade para 40 m/min existe um decréscimo de débito de pasta para a viscosidade de 130 dPa.s (Tabela 3.6), que à medida que o diâmetro da vareta aumenta, a variação começa a ser menos notória. Esse decréscimo é mais significativo na vareta de 10 mm e corresponde a 5,31 g/m².

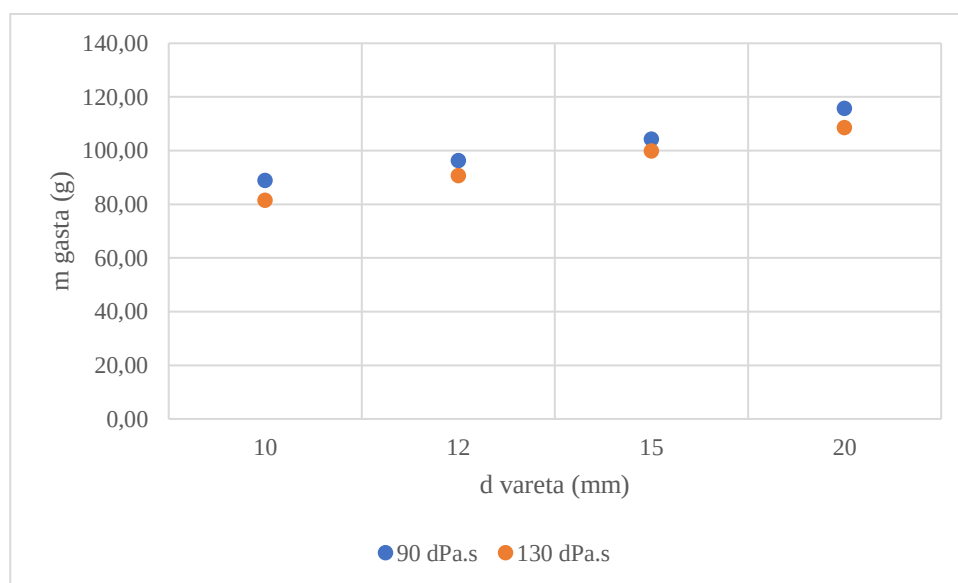


Figura 3.6. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 20m/min no artigo A.

Ao utilizar a *mesh* 165 e à velocidade de 20m/min (Figura 3.6), o decréscimo do gasto quando se utiliza uma pasta de 130 dPa.s é maior do que para a *mesh* 155 com a mesma velocidade, apesar de que neste caso, a variação é idêntica para todas as varetas. Contudo, o valor máximo de variação é registado na vareta de 10 mm e corresponde a uma diminuição de 7,31 g/m².

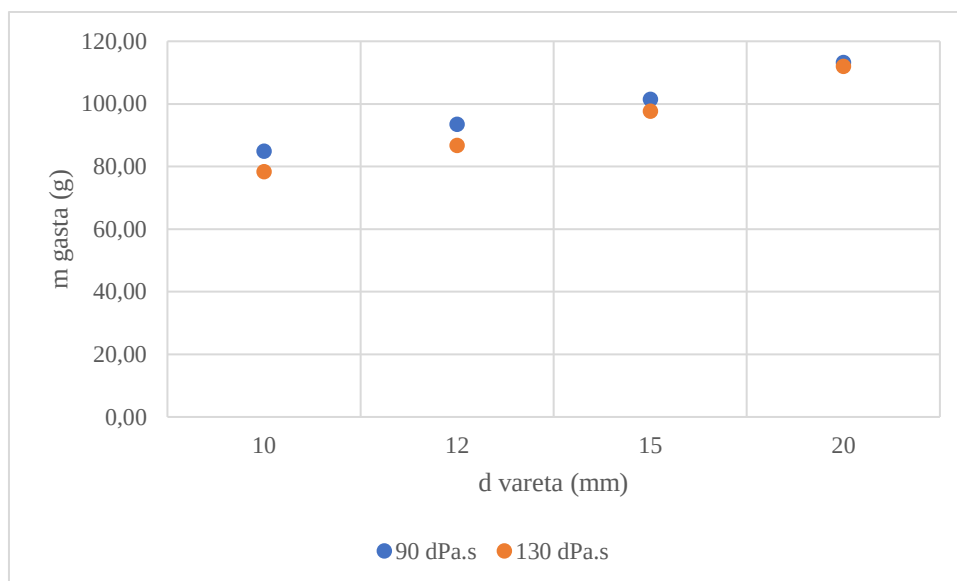


Figura 3.7. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 40m/min no artigo A.

Quando se altera a velocidade de estampagem para 40m/min e à medida que se aumenta o diâmetro da vareta, o decréscimo existente no débito de pasta com viscosidade de 130 dPa.s em relação à de 90 dPa.s é menor (Tabela 3.5, Figura 3.7). O valor máximo de variação corresponde ao ensaio com a vareta de 10 mm que é de 6,64 g/m².

Ao analisar o artigo A, pode-se concluir ainda que para a mesma velocidade e apesar de se variar a *mesh*, os resultados são idênticos.

3.2.2 Artigo B

De seguida foram feitos os mesmos ensaios para o artigo B, que é uma malha com relevo, em que os valores apresentados na tabela 3.7 e nas figuras 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11 representam os valores obtidos neste artigo, para as *mesh* 155 e 165 Às velocidades de 20 m/min e 40m/min.

Tabela 3.7. Resultados experimentais relativos ao teste de débito de pasta no artigo B, variando a velocidade de estampagem, a viscosidade da pasta, a mesh do cilindro e o diâmetro da vareta.

	Velocidade (m/min)	Viscosidade (dPa.s)	Diâmetro da vareta (mm)			
			10	12	15	20
Mesh			Débito de pasta (g/m ²)			
155	20	90	67,54	81,09	103,92	129,13
		130	55,17	74,79	101,07	130,68
	40	90	63,97	75,86	94,89	114,39
		130	52,20	68,01	88,23	115,58
165	20	90	87,75	111,41	133,77	160,76
		130	79,31	104,64	130,92	165,87
	40	90	79,55	100,71	122,47	145,54
		130	71,94	89,30	114,51	146,25

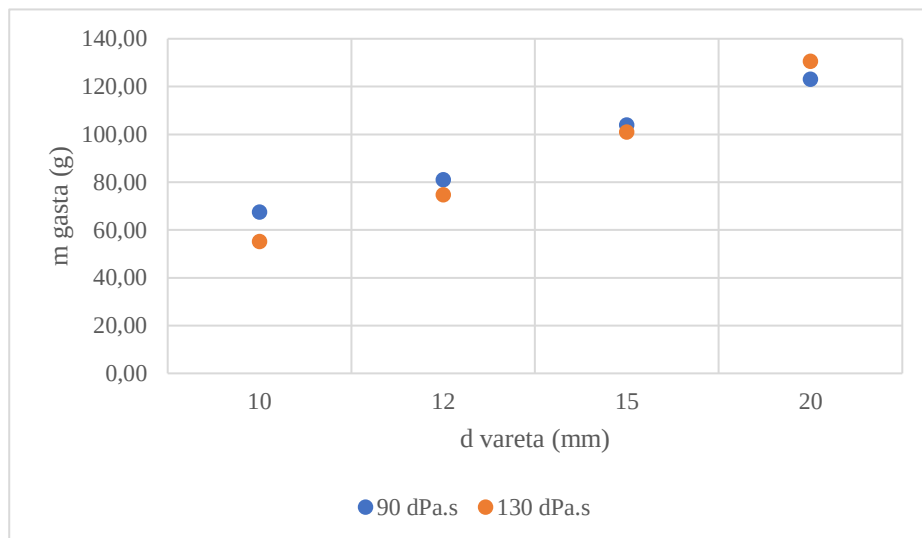


Figura 3.8. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 155 à velocidade de 20m/min no artigo B.

Ao usar-se o cilindro de *mesh* 155 à velocidade de 20 m/min, verifica-se que inicialmente há menos débito de pasta com viscosidade de 130 dPa.s do que com a de 90 dPa.s, nomeadamente nos ensaios realizados com a vareta de 10 mm (Tabela 3.7). No entanto, ao aumentar o diâmetro da vareta, verifica-se uma diminuição da variação até à vareta de maior diâmetro (20 mm), onde o cilindro passa a gastar mais pasta de 130 dPa.s do que a de 90 dPa.s (Figura 3.8). Registou-se uma variação de menor gasto da pasta de 130 dPa.s de 12,37 g/m² na vareta de 10 mm e uma variação de maior gasto da pasta de 130dPa.s de 7,47g por m² na vareta de 20 mm.

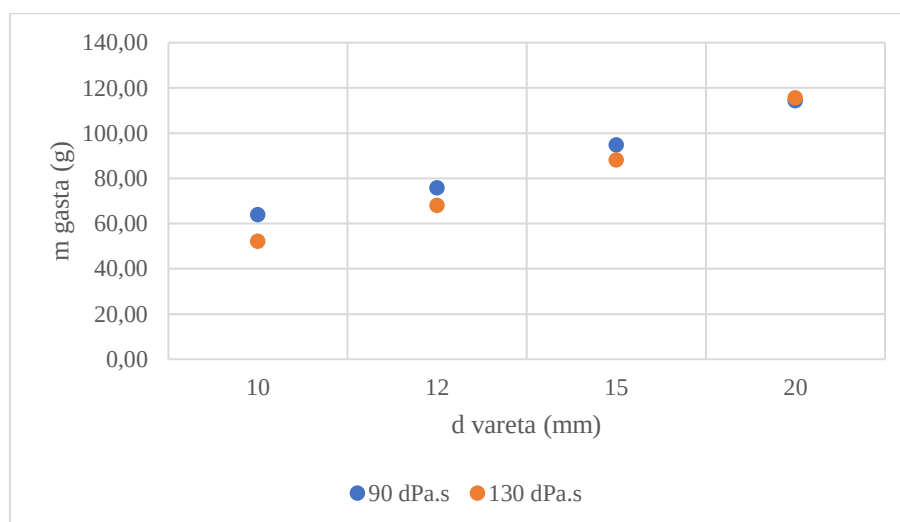


Figura 3.9. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na *mesh* 155 à velocidade de 40m/min no artigo B.

Ao aumentar a velocidade para 40 m/min, variações de menor débito de pasta para a viscosidade de 130 dPa.s verificadas nos ensaios a 20 m/min voltam a ser notadas, apesar destas não serem tão significativas (Tabela 3.7, Figura 3.9). A variação de maior valor é registada nos ensaios com a vareta de 10 mm e é de 11,77 g/m², que corresponde a um menor gasto quando a pasta é de viscosidade 130 dPa.s. No ensaio em que se usa a vareta de 20 mm e o cilindro de 155 *mesh* gasta-se mais 1,19 g/m² de pasta para a viscosidade 130 dPa.s

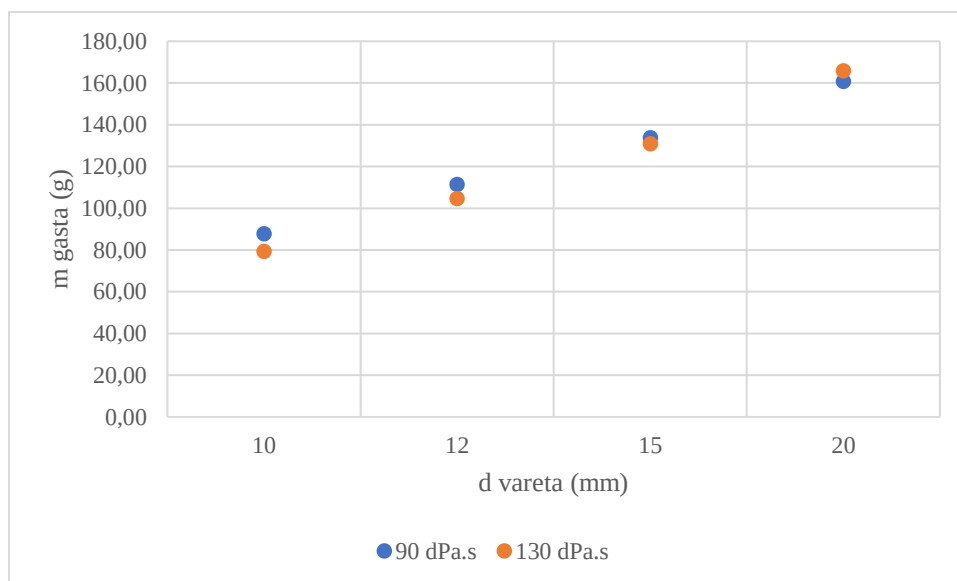


Figura 3.10. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 20m/min no artigo B.

Para a *mesh* 165 e à velocidade de 20 m/min, à medida que se aumenta o diâmetro da vareta, a variação de débito de pasta passa de um valor de menor gasto de 8,44 g/m² de pasta com viscosidade 130 dPa.s em relação à de 90 dPa.s para um valor de maior gasto de 5,11 g/m² de pasta com viscosidade 130 dPa.s face à de 90 dPa.s (Figura 3.10).

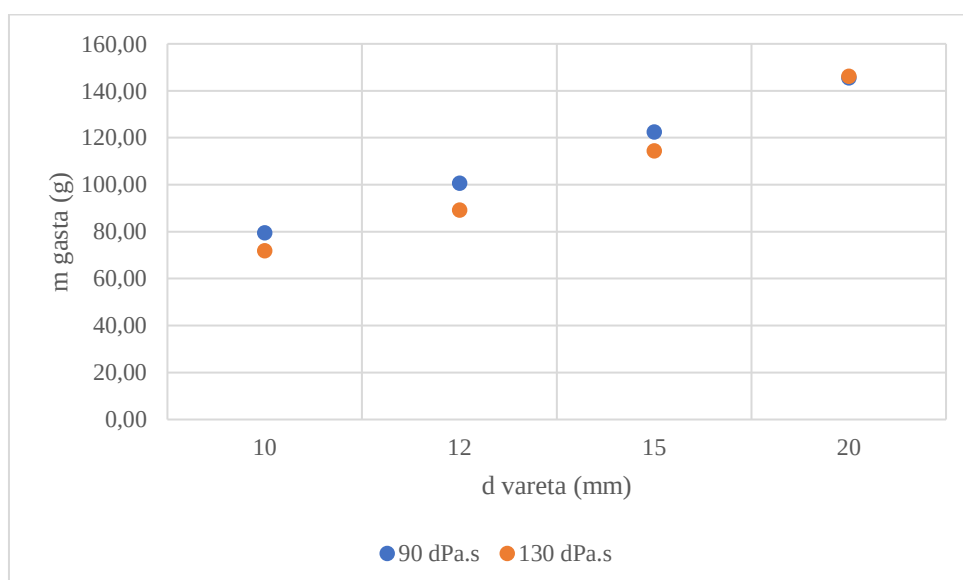


Figura 3.11. Gráfico representativo dos resultados obtidos da variação da viscosidade em função do diâmetro da vareta na mesh 165 à velocidade de 40m/min no artigo B.

Para a mesma *mesh*, e para a velocidade de estampagem de 40 m/min, os valores das variações de débito de pasta voltam a ser menores para esta velocidade (tabela 3.7). Neste caso em particular a maior variação de menor gasto ($7,61 \text{ g/m}^2$) da pasta de viscosidade 130 dPa.s é registada na vareta de 12 mm e não na de 10 mm, como se tinha verificado nos restantes ensaios (Figura 3.11). Para a vareta de 20 mm há um gasto de mais $0,71 \text{ g/m}^2$ de pasta com 130 dPa.s de viscosidade.

O estudo realizado nos artigos A e B permitiu concluir que é gasta mais pasta de estampagem com a viscosidade de 90 dPa.s do que com a de 130 dPa.s. Isto acontece devido à dificuldade que a pasta de viscosidade 130 dPa.s tem de atravessar os furos microscópicos dos diferentes cilindros. Verificou-se também que quanto maior for a velocidade de estampagem, menor será a variação do gasto entre as pastas analisadas. No entanto, a variável que tem mais impacto nessa diminuição é o diâmetro da vareta, em que em alguns casos em que se usa a vareta de 20 mm consegue-se ter um maior gasto da pasta com 130 dPa.s de viscosidade. Isto deve-se ao facto de a vareta exercer uma força suficientemente elevada para que aumente a passagem da pasta nos orifícios do cilindro.

3.3. Formulação da Equação para o Cálculo do Consumo de Pasta por Encomenda

Após estudar todas as variáveis que influenciam o processo de estampagem, foi necessário correlacionar todas essas variações numa única fórmula, que pudesse prever o gasto de pasta de estampagem em produção, de forma a reduzir ao máximo o seu desperdício.

Para se determinar a equação, definiu-se como base o consumo as seguintes condições para a estampagem do artigo A (tela 100% algodão): *mesh* 125, vareta de 15 mm à velocidade de 20 m/min e a pasta de viscosidade 90 dPa.s.

Inicialmente foram determinadas as equações correspondentes à influência da vareta em função da *mesh*, para a velocidade de 20 m/min como demonstra a equação 5, através do ajuste dos valores obtidos para as quatro varetas que estão representados na tabela 3.1.

$$\text{Débito} = m \times \text{vareta} + \text{consumo base} \quad (5)$$

Em que:

- débito de pasta por metro quadrado, em g/m²;
- m: declive da reta;
- diâmetro da vareta, em mm;
- consumo base da *mesh* sem vareta, em g/m².

Na tabela 3.8 são apresentadas as equações das retas para as diferentes *mesh*, à velocidade de 20 m/min.

Tabela 3.8. Equações das retas para as diferentes *mesh*, à velocidade de 20 m/min.

<i>Mesh</i>	m	Consumo base	R ²
125	2,7726	58,40	0,9999
155	3,3514	35,14	0,9854
165	2,6256	63,88	0,9740
195	3,2822	37,08	0,9862

De seguida foram obtidas as equações correspondentes ao efeito da velocidade, onde se relaciona para cada *mesh*, a percentagem de variação de consumo de pasta de pasta com a vareta de 15mm, para as velocidades de 30 e 40 m/min relativamente à velocidade de 20 m/min, como demonstra a equação 6.

$$\text{variação consumo} = a \times \text{velocidade}^2 + b \times \text{velocidade} + c \quad (6)$$

Em que:

- variação do consumo das diferentes velocidades, em %;
- velocidade de estampagem, em m/min.

As equações estão demonstradas na tabela 3.9 e na figura 3.12.

Tabela 3.9. Equações correspondentes à influência da velocidade em função da mesh, para a vareta de 15mm.

mesh	a	b	c
125	0,0084	-0,7415	11,45
155	0,0123	-0,9965	15,03
165	-0,0021	-0,0165	1,15
195	0,011	-0,987	15,3

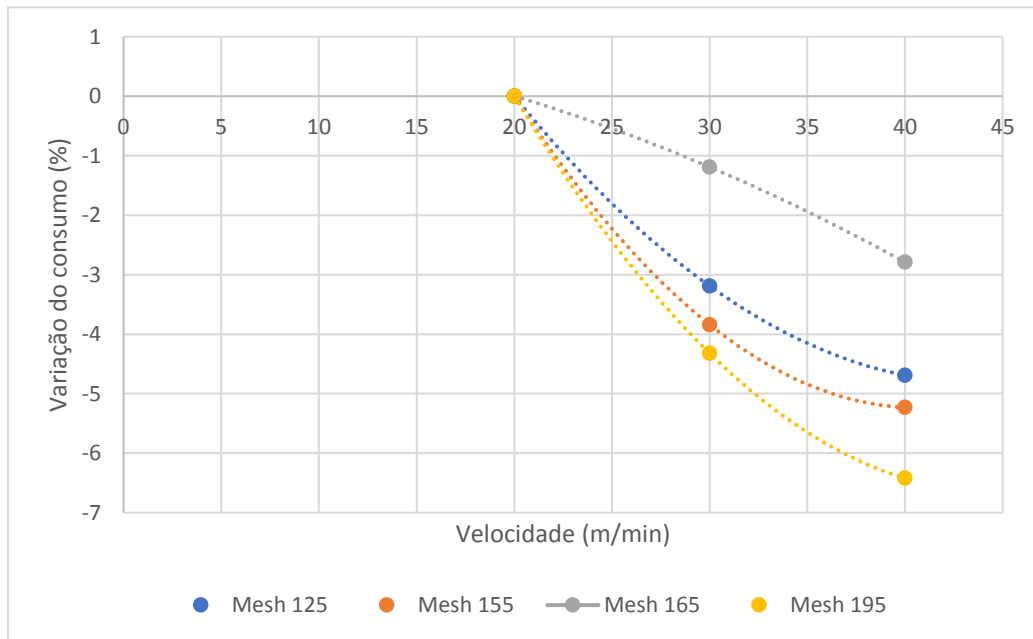


Figura 3.12. Variação do consumo de pasta em função da velocidade para diferentes meshes, para a vareta de 15 mm.

Seguidamente, foi obtida a equação 5 com base na variação de débito de pasta entre as viscosidades de 90 dPa.s e 130 dPa.s, em percentagem. Assumiu-se uma variação média de 4% dos ensaios realizados a 130 dPa.s em relação aos ensaios a 90 dPa.s, em que resultou a seguinte equação:

$$y = 0,001 \times \text{viscosidade} - 0,09 \quad (7)$$

Em que:

- y- Variação do consumo de pasta em relação ao valor base de viscosidade, em %;
- Valor de viscosidade utilizado, em dPa.s.

Após obterá obtenção das equações anteriores, foi necessário verificar algumas variáveis inerentes ao processo produtivo, que são fixas e independentes das variações provocadas pelas variáveis analisadas. Uma destas foi a massa do enchimento do circuito de tubagens, desde a sucção da pasta de estampagem pela bomba até à racla, para duas máquinas de estampar diferente (Ma e Mb). Para isso, foi realizado a partir de uma OFE (ordem de fabrico de estampa) o consumo deste circuito em cada uma das duas máquinas de estampar, tendo-se obtido os valores apresentados na tabela 3.10.

Tabela 3.10. Valores da massa de enchimento do circuito das bombas das duas máquinas de estampar, em kg

Máquina	Consumo (kg)
Ma	10,3
Mb	4,9

De seguida foi medido o consumo das raclas para as duas máquinas. Existem diferentes medidas de raclas dependentes da largura do artigo a estampar, com diferentes consumos, com os valores apresentados na tabela 3.11.

Tabela 3.11. Valores relativos ao consumo das diferentes raclas das máquinas de estampar, em kg.

Máquina	Racla (cm)	kg
Ma	262	2,0
	186	1,5
	170	1,0
Mb	320	2,5
	242	2,0
	186	1,5

Para além das duas variáveis acima referidas, foi ainda determinada o a quantidade de pasta que sobra no balde (b, kg), pois existe uma quantidade de pasta a partir da qual a bomba já não tem capacidade de bombear. O valor médio de pasta obtido para as diferentes medidas de baldes foi de 3 kg.

Todavia, é de realçar que duas variáveis que diferem de desenho para de desenho e de encomenda para encomenda são a percentagem de cobertura de uma tinta num desenho e a largura do tecido a ser estampado.

Com as equações anteriores foi então desenvolvida uma equação matemática que permitisse correlacionar todas estas variáveis de forma a se obter um valor teórico de consumo de cada encomenda (equação 8).

$$C = \left(\left(\frac{(V+v) \times (1-\mu)}{1000} \times L \times \left(\frac{l}{100} \right) \times \%cobertura \right) \times \left(1 + \frac{b}{70} \right) + B + R \right) \times F \quad (8)$$

Em que:

- C – Consumo total de pasta, em kg;
- V – Equação correspondente à influência da vareta (Tabela 3.8), em g/m²;
- v – Equação correspondente à influência da velocidade, em %;
- μ - Equação correspondente à influência da viscosidade, em %;
- L – Comprimento da encomenda, em metros;
- l – Largura do artigo, em cm;
- % cobertura – Percentagem de cobertura da cor no desenho;
- b – Sobra de pasta num balde, em kg;
- B – Consumo do circuito da bomba, em kg;
- R – Consumo das Raclas, em kg;
- F – Fator corretivo, em %.

O fator F foi criado para se ter uma correlação entre a base em que a equação foi obtida e os diversos artigos que são utilizados*. Este valor não é único, pois varia consoante o artigo utilizado, sendo para os artigos A e B de 7 e 12%, respetivamente.

Através da equação 6 foi possível comparar os consumos de pasta teóricos obtidos, com os valores de consumos de pasta em produção nas OFE, para a máquina A numa OFE com as seguintes características:

- Artigo: Tela A;
- N° de metros: 9900 m;
- Largura: 283 cm;
- % de cobertura: 13%;
- Viscosidade: 120 dPa.s;
- Velocidade: 35 m/min;
- Vareta: 12 mm;
- *Mesh*: 125;
- F: 7%.

Com base na expressão 8 foi obtido o consumo teórico de pasta de 357 kg, e o consumo real de pasta foi de 339 kg, o que representa um desvio de 5%. Apesar de neste caso a diferença ser de 18 kg, o facto de o erro ser baixo mostra que a equação cumpre o pretendido, pois para uma metragem mais baixa, o consumo estimado pela equação será mais próximo do consumo real, pois consome-se menos pasta o que torna o erro em termos de massa de pasta menor, o que traz mais benefícios para que haja um desperdício de pasta cada vez menor.

4. Desenvolvimento de uma base de dados para corantes reativos

Uma parte importante neste sector de atividade é conseguir fazer as pastas com os corantes que seguem para a produção com as cores pretendidas pelos clientes. Isso nem sempre é possível satisfazer, sendo necessário efetuar várias correções das tintas, o que leva a um desperdício de tempo e de pasta, aumentando a carga poluente da estamperia.

Com o objetivo de reduzir este desperdício, foi desenvolvida uma base de dados na secção dos corantes reativos. Estes corantes distinguem-se dos pigmentos por reagirem com o artigo onde são estampados, o que faz com que artigos estampados com estes corantes tenham de ser vaporizados após o processo de estampagem. Esta base de dados foi criada no programa Stork Cps Admin Dye Range.

4.1 Criação da base de dados

A base de dados foi criada com onze corantes reativos de cores diferentes, cada um com onze concentrações diferentes (de 45 a 0,06 g/kg)). Estas concentrações estão apresentadas nas figuras 4.1. e 4.2., em que o corante representado é o laranja.

#	g/kg	Measured Color (Lab)	Used	Calculated Color (Lab)	CMC
1	45.00	71.7 36.0 60.9	Yes	71.9 35.0 60.7	0.55
2	30.00	74.6 30.6 60.0	Yes	74.7 30.0 60.0	0.65
3	15.00	79.4 20.9 60.0	Yes	79.3 21.1 60.0	0.30
4	7.50	83.6 11.6 67.1	Yes	83.4 12.9 66.3	0.37
5	3.75	86.9 5.6 53.1	Yes	86.8 6.2 52.2	0.62
6	1.00	89.4 1.4 38.7	Yes	89.6 1.7 38.6	0.22
7	0.94	91.9 -0.8 25.7	Yes	91.7 -0.7 27.0	0.72
8	0.47	93.3 -1.4 17.6	Yes	93.1 -1.5 17.6	0.15
9	0.23	94.1 -1.3 11.5	Yes	93.9 -1.4 11.3	0.26
10	0.12	94.2 -1.0 7.5	Yes	94.4 -1.2 7.7	0.35

Figura 4.1. Concentrações de corante utilizadas

#	g/kg	Measured Color (Lab)	Used	Calculated Color (Lab)	CMC
3	15.00	79.4 20.9 60.0	Yes	79.3 21.1 60.0	0.30
4	7.50	83.6 11.6 67.1	Yes	83.4 12.9 66.3	0.37
5	3.75	86.9 5.6 53.1	Yes	86.8 6.2 52.2	0.62
6	1.00	89.4 1.4 38.7	Yes	89.6 1.7 38.6	0.22
7	0.94	91.9 -0.8 25.7	Yes	91.7 -0.7 27.0	0.72
8	0.47	93.3 -1.4 17.6	Yes	93.1 -1.5 17.6	0.15
9	0.23	94.1 -1.3 11.5	Yes	93.9 -1.4 11.3	0.26
10	0.12	94.2 -1.0 7.5	Yes	94.4 -1.2 7.7	0.35
11	0.06	94.6 -0.9 5.5	Yes	94.7 -1.0 5.5	0.20

Figura 4.1. Concentrações de corante utilizadas.

Estas concentrações estão expressas em g/kg e representam a massa de corante, em gramas, por quilograma de pasta de estampagem. A concentração do corante vai sendo reduzida para metade desde a primeira até à última tinta preparada (de 45 g/kg para 0,06 g/kg). Estes valores relativos à cor foram medidos com um espectrofotómetro que envia a informação relativamente à cor diretamente para o programa. O valor da

diferença total de cor, que no programa está representado como CMC, deve estar sempre abaixo de 1, para ser um valor válido.

Após serem reunidos os valores referentes às 11 concentrações de corante, o programa permite construir dois gráficos, em que um deles relaciona o grau de amarelo (**a**) e o grau de vermelho (**b**) e outro em que relaciona a luminosidade (**L**) com a saturação (**C**). Estes gráficos estão representados nas figuras 4.3. e 4.4.

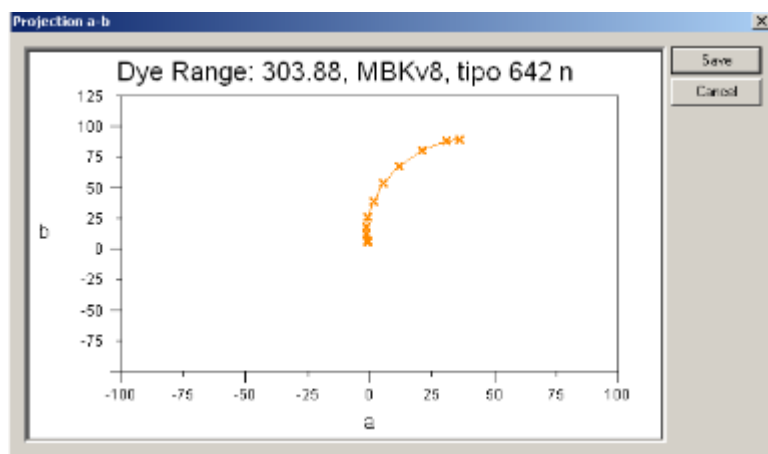


Figura 4.3. Variação do grau de amarelo (**a**) e do grau de vermelho (**b**) em função da variação da concentração de corante.

Neste caso, à medida que a concentração de corante diminui, a tendência é de a cor ficar mais azul e mais verde.

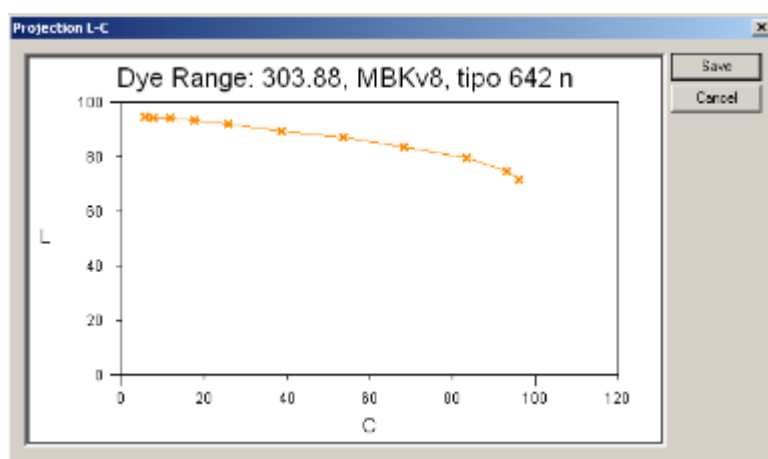


Figura 4.4. Variação da luminosidade (**L**) e da saturação (**C**) em função da variação da concentração de corante.

Na Figura 4.4, o que se verifica é uma diminuição da saturação e a cor fica mais limpa com a diminuição da concentração de corante.

Após ter sido feito este estudo para os sete corantes que entram na base de dados, foram construídas tricromias com estes corantes, ou seja, com três corantes criaram-se triângulos definindo-se assim áreas de cor, como se demonstra na figura 4.5 e 4.6, de forma a se garantir que uma cor será reproduzida sempre pelos mesmos corantes.

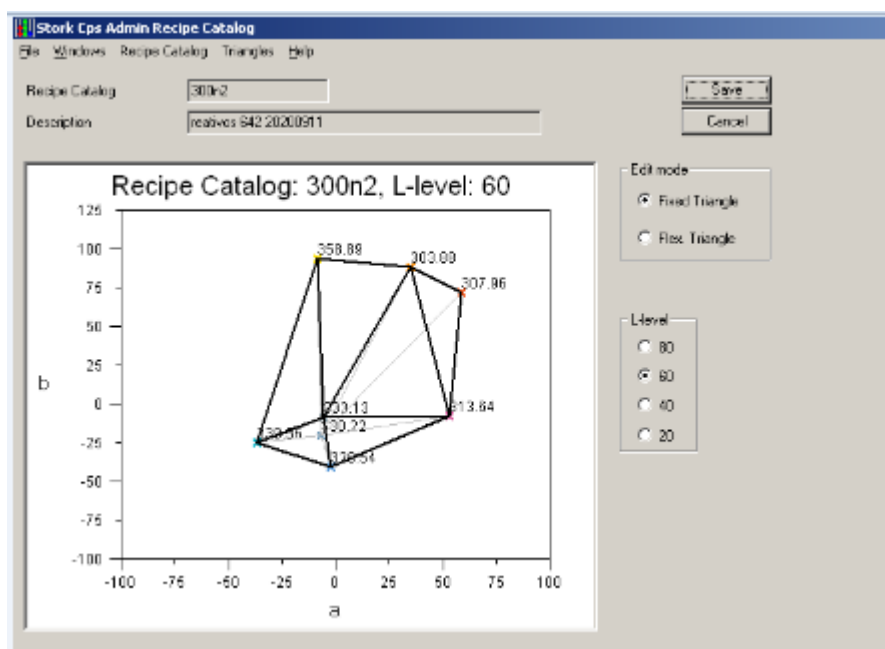


Figura 4.5. Gráfico representativos dos triângulos fixos criados com os corantes inseridos na base de dados.

A figura 4.5 representa os triângulos fixos, ou seja, foram criados tendo como base a cor cinza. Cada triângulo representa um conjunto de cores que é possível produzir com os corantes que se encontram nos vértices destes.

Na figura 4.6. está representado as tricromias feitas através dos triângulos flexíveis, em que os triângulos de cores são feitos tendo como base a cor azul marinho.

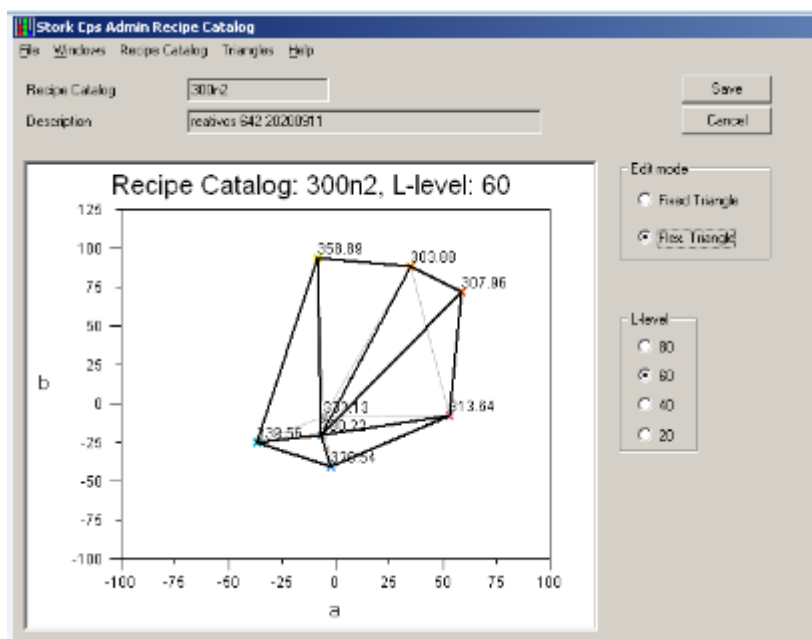


Figura 4.6. Gráfico representativos dos triângulos flexíveis criados com os corantes inseridos na base de dados.

Apesar dos triângulos flexíveis não serem muito usados, dão uma alternativa para se atingir uma determinada cor, tendo em conta o metamerismo da cor proposta pelo padrão, que poderá ser mais difícil de alcançar quando se utilizam os triângulos fixos.

4.2. Ensaio teste para a avaliação da base de dados

Após a criação da base de dados no software, foram feitas dez tintas de cores diferentes com o objetivo de verificar se é possível fazer tintas com os corantes selecionados.

Depois dessas cores serem estampadas num artigo como se demonstra na figura 4.7 foram medidos num espectrofotómetro os valores do ΔL , Δa , Δb , ΔE , Δh e ΔCMC , que estão apresentados na tabela 4.1.



Figura 4.7. Cores selecionadas.

Tabela 4.1. Valores relativos ao ΔL , Δa , Δb , ΔE , Δh e ΔCMC das cores selecionadas.

Cor	ΔL	Δa	Δb	ΔE	Δh	Δcmc
Verde	-8,84	3,20	-5,60	10,94	4,63	5,77
Roxo	-11,27	-0,68	-3,56	11,84	-2,07	5,45
Lilás	-10,73	0,69	-7,28	12,98	-0,19	7,48
Cinza	-11,00	0,11	2,13	11,20	-1,63	5,23
Laranja	-8,66	3,33	5,03	10,55	2,82	4,92
Beje flex	-6,82	2,35	6,45	9,68	-1,28	4,58
Beje fixo	-4,83	-0,99	-3,14	5,84	0,98	2,54
Rosa	-8,34	1,80	3,38	9,18	2,16	4,37
Azul escuro	-12,65	-0,14	-2,08	12,82	0,93	5,55
Azul claro	-11,18	-0,20	-4,02	11,88	2,05	5,44

Como se pode verificar na tabela 4.1, ao analisar os valores do ΔL , pode-se concluir que todas as cores estão mais escuras relativamente à referência, que foram para

todos os casos o pantone correspondente. Os valores correspondentes ao ΔE e ΔCMC são muito elevados, o que indica que as cores estão muito desviadas das cores referência. Isto pode ser explicado pelo facto de a comparação não ter sido feita com as cores referência a serem estampadas no mesmo artigo do que as amostras testadas.

Também a criação dos padrões dos corantes pode ter sido um fator de desvio, porque os corantes reativos são corantes que são sensíveis a vários fatores, tais como a temperatura, a humidade e mesmo o artigo onde são estampados. O facto de o processo de estampagem realizado nestes ensaios não ter sido em contínuo, desde a estampagem dos padrões até às medições no espectrofotómetro, pode ser também uma justificação para os desvios registados.

Apesar disso, ao analisar os valores do Δh , pode-se concluir que as cores, no geral encontram-se dentro do tom das cores referência.

5. Conclusões e Propostas de Trabalho Futuro

O objetivo principal desta dissertação foi reduzir o desperdício de pasta gerado na estamparia da empresa Adalberto. Foram estudadas as variáveis do processo (vareta, velocidade e viscosidade) sendo o diâmetro da vareta e a velocidade de estampagem as que mais contribuem para a geração deste desperdício.

Com base na influência de cada uma das variáveis, foi desenvolvida uma equação matemática que permite determinar o consumo de pasta de cada OFE, apresentando um erro médio face ao consumo real de cerca de 5%. Desta forma, é possível reduzir o desperdício de pasta que se descarrega no efluente.

Para diminuir o desvio de consumo de pasta sugere-se a realização de um estudo mais aprofundado, tal como foi feito para a tela A, para os tecidos mais utilizados na estamparia.

No desenvolvimento da base de dados dos corantes reativos, com o objetivo de reduzir o número de correções na produção de tintas com estes corantes, criou-se uma base de dados.

A base de dados foi testada em várias amostras e verificou-se que apesar dos valores de L , a e b das amostras serem muito diferentes dos valores das cores referência, verificou-se que os valores do Δh no geral são próximos de zero, mostrando que as cores analisadas estão no tom das cores referência.

Para trabalho futuro sugere-se a realização de ensaios onde se deverá ter em conta a sensibilidade dos corantes reativos a fatores externos. Desta forma, conseguir-se-á obter resultados de ΔE e de ΔCMC mais próximos de zero, para que seja possível produzir cores através desta base de dados com menor erro em relação às cores referência.

Bibliografia

- [1] jornaldenegocios.pt de 12/04/2017., consultado a 5/4/2020
- [2] euronews.pt de 27/07/2020., consultado a 22/9/2020
- [3] Madeira, Ana. Desenvolvimento de uma Pasta de Corrosão Ecológica, para Aplicação em Substrato Têxtil, Universidade do Porto, 2009 (Tese de Mestrado).
- [4] Araújo, Mário; Melo e Castro, E. M. Manual de Engenharia Têxtil, Volume II, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1984.
- [5] coresetons.com.br., consultado a 2/1/2020
- [6] produto.mercadolivre.com.br., consultado a 2/1/2020.
- [7] Guia Técnico “Setor Têxtil” (2000), Lisboa: INETI.
- [8] coatsindustrial.com/pt., consultado a 23/9/2020
- [9] Silva, Fernando. Bases de Dados de Formulações de Cor para Tintas Decorativas, Universidade de Aveiro, 2014 (Tese de Mestrado)
- [10] engelscornet.com.br., consultado a 28/9/2020
- [11] Ferreira, M. D.; Spricigo, P. C. Colorimetria – Princípios e Aplicações na Agricultura, Enbrapa Instrumentação, 2017.
- [12] researchgate.net. Tingimento de têxteis com o corante natural extraído dos excrementos do bicho da seda, Agosto de 2016
- [13] Raheel, Mastura. Modern Textile Characterization Methods, CRC Press, 1996.
- [14] Santos, M.S. Leigiane.; Pinheiro, M. Gilson.; da Silva, L. Jeferson. Análise da Repetibilidade e da Reprodutibilidade dos Resultados de Ensaio de Cores de Tecidos Tintos, Universidade do Itaúna, 2017.
- [15] Rodrigues, E. Débora.; Pinheiro, M. Gilson.; da Silva, L. Jeferson.; de Oliveira, N. Geraldo. Redução do Índice de Reprovação da Nuança de Cor de tecidos Acabados, Universidade do Itaúna, 2017.
- [16] Gallardo, G. Jazmin. Manejo de las Fórmulas de Diferencias de Color vs Limites de Aceptibilidad, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica e Electrónica, Luis Enrique Erro No.1, Tonantzitla, Puebla.

[17]sensing.konicaminolta.us., consultado a 24/9/2020

[18]Malacara, D. Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications. 2002.

[19]Habekost, M. Which Color Differencing Equation Should be Used?, Internation
Circle of Graffic Education and Research, No.6, 2013

Anexos

Anexo A: Valores relativos aos três ensaios realizados no artigo A

Nas tabelas A.1., A.2., A.3., e A.4. estão representados os 3 ensaios realizados no artigo A à velocidade de 20m/min, em que se variou a *mesh* e a vareta.

Tabela A.1. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 125 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 125 Velocidade 20 m/min					
Vareta	1º	2º	3º	Média	σ
10	90,25	85,14	82,98	86,12	3,73
12	94,53	90,27	90,20	91,67	2,48
15	100,14	97,98	101,86	99,99	1,94
20	113,97	113,80	113,77	113,85	0,10

Tabela A.2. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 155 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 155 Velocidade 20 m/min					
Vareta	1º	2º	3º	Média	σ
10	71,11	65,28	65,76	67,38	3,23
12	78,83	74,08	73,25	75,39	3,01
15	91,91	86,68	85,14	87,91	3,55
20	102,97	98,34	101,43	100,91	2,36

Tabela A.3. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 165 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 165 Velocidade 20 m/min					
Vareta	1º	2º	3º	Média	σ
10	76,69	88,59	89,18	88,88	0,42
12	89,66	96,20	96,43	96,31	0,16
15	100,48	104,40	104,16	104,28	0,16
20	110,46	115,22	116,17	115,70	0,67

Neste caso, pelos valores do primeiro ensaio serem muito diferentes dos restantes valores, estes foram excluídos para o cálculo da média e desvio padrão.

Tabela A.4. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 195 à velocidade de 20 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 195 Velocidade 20 m/min					
Vareta	1º	2º	3º	Média	σ
10	72,06	68,49	66,83	69,12	2,67
12	76,34	77,05	74,20	75,86	1,48
15	88,23	91,20	87,04	88,82	2,14
20	100,12	101,43	103,21	101,59	1,55

Nas tabelas A.5., A.6., A.7. e A.8. estão representados os valores dos 3 ensaios realizados no artigo A à velocidade de 30m/min, variando a *mesh* e a vareta.

Tabela A.5. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 125 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 125 Velocidade 30 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	85,73	79,79	81,33	82,28	3,08
12	89,18	83,12	90,73	87,67	4,02
15	99,29	88,35	101,66	96,43	7,10
20	110,23	98,69	113,56	107,49	7,80

Tabela A.6. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 155 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 155 Velocidade 30 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	70,63	66,23	62,78	66,55	3,93
12	76,10	73,01	71,94	73,68	2,16
15	85,26	84,30	82,64	84,07	1,32
20	98,69	94,05	97,27	96,67	2,37

Tabela A.7. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 165 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 165 Velocidade 30 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	76,69	86,68	86,56	86,62	0,08
12	87,16	95,60	95,84	95,72	0,16
15	99,41	103,33	102,85	103,09	0,33
20	112,01	115,22	115,81	114,80	0,42

Tal como aconteceu nos ensaios à velocidade 20 m/min na mesh 165, foi retirado para o cálculo da média e desvio padrão os valores correspondentes ao primeiro ensaio.

Tabela A.8. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 195 à velocidade de 30 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 195 Velocidade 30 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	70,39	66,59	62,31	66,43	4,04
12	74,20	76,10	73,13	74,47	1,50
15	85,02	85,14	83,35	84,50	0,99
20	96,91	95,96	104,28	99,05	4,55

Nas tabelas A.9., A.10., A.11. e A.12. são apresentados os valores relativos aos 3 ensaios realizados no artigo A, à velocidade de 40m/min, variando a vareta e a mesh.

Tabela A.9. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 125 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 125 Velocidade 40 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	85,61	78,12	80,50	81,41	3,82
12	87,40	80,02	86,33	84,58	3,98
15	94,53	84,78	97,98	92,43	6,84
20	108,92	95,12	113,56	105,87	9,58

Tabela A.10. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 155 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 155 Velocidade 40 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	69,32	66,59	61,59	65,83	3,91
12	73,13	72,77	69,68	71,86	1,89
15	83,95	82,88	81,21	82,68	1,37
20	93,10	92,63	93,94	93,22	0,66

Tabela A.11. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 165 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 165 Velocidade 40 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	75,86	84,78	85,02	84,90	0,16
12	86,80	94,29	92,75	93,52	1,09
15	95,48	101,78	101,19	101,49	0,42
20	109,63	113,56	112,96	113,26	0,42

Também para a velocidade de 40m/min foram retirados os valores do primeiro ensaio realizado na *mesh* 165.

Tabela A.12. Valores relativos aos ensaios realizados no artigo A com a mesh 195 à velocidade de 40 m/min variando a vareta, em g/m.²

Mesh 195 Velocidade 40 m/min					
Vareta	1°	2°	3°	Média	σ
10	71,46	69,20	60,88	67,18	5,57
12	73,48	72,77	70,51	72,26	1,55
15	83,00	82,28	81,93	82,40	0,54
20	95,24	93,94	101,55	96,91	4,06