

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Uniformização da camada aplicada de verniz e esmalte na folha-de-flandres

de

Tiago Andrade

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

Colep



Orientador na FEUP: Prof. Adélio Mendes

Orientador na Colep: Eng^a. Rita Resende



Universidade do Porto

Faculdade de Engenharia

FEUP

Departamento de Engenharia Química

Fevereiro de 2015

“O único sítio onde o sucesso vem antes do trabalho, é no dicionário.”

Albert Einsten

Agradecimentos

Foram muitas as pessoas que contribuíram para a realização desta tese às quais deixo os meus sinceros agradecimentos.

Àquele que tornou o meu percurso possível e que me ensinou a ser o homem que sou hoje. Ao meu herói, o meu Pai, gostaria de dedicar a minha tese.

À minha orientadora, a Eng^a Rita Resende, por me ter acompanhado, orientado, e pela constante ajuda disponibilizada. Os conhecimentos que me transmitiu e a sua visão empresarial foram fundamentais para a conclusão desta tese.

Ao Professor Adélio Mendes, pelos conselhos, pela exigência, pela total disponibilidade e por me ter ensinado a ir sempre em busca da inovação e excelência.

À Associação Rede Competências em Polímeros, nas pessoas Ângela Dias e Carolina Gonçalves, por me terem cedido o laboratório e pela incansável ajuda ao longo dos ensaios laboratoriais. Ao professor Fernão Magalhães por ter facultado a instalação do dinamómetro.

Ao Fernando Paulo, Daniel Lucas, António Alberto, Ana Santos e Elsa, por terem tornado mais fácil a minha integração, pelo companheirismo, e por me mostrarem que é possível conciliar o trabalho com a boa disposição.

A todos os operadores das linhas de envernizamento, por todos os conhecimentos que me transmitiram e pela cooperação ao longo do projeto, sem eles não seria possível o sucesso do projeto.

À Colep e a todos os seus colaboradores que de uma forma direta ou indireta contribuíram para o projeto.

À minha família nomeadamente à Dulce e aos meus irmãos Cátia e Bruno pelo apoio incondicional. À minha madrinha, irmã, segunda mãe e mulher da minha vida Andreia, por toda a ajuda e dedicação. Ao meu cunhado Filipe pelo exemplo de força e de espírito de sacrifício, e ao meu sobrinho, por me fazer mais feliz sempre que me dá um abraço.

À pessoa que durante os últimos 2 anos esteve ao meu lado nos bons e maus momentos, pela paciência, pelo carinho e por toda a ajuda que sempre me prestou.

Aos meus verdadeiros amigos, por toda a amizade e por me terem acompanhado durante o meu percurso académico. Sem eles, teria sido penosa esta minha viagem.

Resumo

A aplicação de revestimentos nas embalagens metálicas é fundamental para a proteção e decoração das mesmas. No entanto, a presente dissertação surge de uma necessidade sentida pela empresa Colep que detetou diferenças significativas nas espessuras secas dos revestimentos aplicados sobre folha-de-flandres. Estas diferenças ultrapassam muitas vezes os limites especificados para as espessuras a aplicar podendo originar produtos com pouca qualidade, assim como, um sobrecusto operacional. Assim, a presente tese tem como objetivo determinar a origem das diferenças verificadas e desenvolver metodologias que promovam a uniformidade da camada aplicada de vernizes e esmaltes na folha-de-flandres.

Ao longo deste estudo, comprovou-se a existência de desvios consideráveis entre as espessuras medidas e as especificadas. A quantidade de revestimento aplicada era diferente do espectável, causando desvios significativos na qualidade do produto e no consumo dos revestimentos (esmaltes/vernizes). Tendo como objetivo a melhoria na qualidade da aplicação de revestimento, investigaram-se as causas dos desvios referidos.

O método de medição da espessura da camada aplicada, implementado na empresa para controlo de qualidade, não permitia aos colaboradores conhecerem o modo como a camada de revestimento estava distribuída pela área da folha-de-flandres, pois não permitia fazer leituras localizadas. A complexidade do método utilizado não permitia um controlo eficiente da quantidade de revestimento.

A utilização de um novo equipamento de medição da espessura de revestimentos, *Sencon Coatings Thickness Gauge*, para além de ser de simples utilização, permite determinar a espessura da camada verniz em vários pontos da folha. Após implementação deste método de medição no controlo de qualidade verificaram-se melhorias significativas na uniformização da camada de revestimentos aplicados. Uma das grandes vantagens foi permitir aos colaboradores ganharem sensibilidade para saber como corrigir a máquina envernizadora de forma a obter uma aplicação homogénea. Esta alteração e o constante acompanhamento da espessura de revestimento aplicado ao longo da produção por parte dos operadores levaram a diminuições consideráveis do consumo de revestimentos e ao aumento da qualidade da sua aplicação.

Por outro lado, os acoplamentos da máquina envernizadora ao rolo de aplicação da linha de produção nº 3 foram os únicos a serem alterados. Esta intervenção deverá estar na origem da maior uniformidade do revestimento das folhas aplicado nesta linha. Desta forma, foi sugerida uma intervenção de manutenção semelhante nas outras linhas de produção.

Palavras-chave (Tema): Uniformização, Espessura, Revestimentos, Desvio-padrão, Consumo

Abstract

The coating application in metal packaging is very important for their protection and adornment. However, it was detected that in some areas of the tinfoil the thickness of the coating was off the limits imposed by the company. These differences may lead to quality problems.

The objective of the present thesis is to determine the origin of the differences observed and to develop methodologies that increase the uniformity of the applied layer of varnishes and enamels in the tinfoils.

During this study, significant differences between the registered and the specified thickness were found. The amount of applied coatings was different from what was expected, causing substantial deviation in the quality of the product and in the coating consumption.

The method used to measure the thickness of the applied layer in the quality control did not allow the operators to know the thickness in all the areas of the tinfoil. The complexity of the method used explains the poor accompaniment of the applied coating quantity.

The utilization of the equipment Sencon Coatings Thickness Gauge makes the measurement easier. Furthermore it shows the thickness of the layer of coating in many points of the tinfoil. The introduction of the equipment in quality control led to a significant improvement in the uniformity of the applied coating layer, since the operators came to know where they should do a better adjustment of the coating machine. This change of method together with the recommendations given to the operators led to significant reductions in coatings consumption.

The couplings of the coating machine to the application roll in line of production n° 3 were the only ones changed. This condition can justify the better uniformity of the thickness in sheets coated in that line of production. It was suggested a similar intervention in the other lines of production.

Declaração

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

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto	2
1.2	Apresentação da Empresa	4
1.3	Contributos do Trabalho.....	5
1.4	Organização da Tese	5
2	Contexto e Estado da Arte	6
2.1	Rolo de aplicação	6
2.2	Velocidade de funcionamento da máquina	7
2.3	Cura.....	8
2.4	Viscosidade.....	8
2.5	Temperatura	9
2.6	Medição da espessura de revestimento (carga do revestimento).....	9
3	Materiais e Métodos	11
3.1	Medição da espessura de verniz e esmalte aplicada	11
3.2	Método de análise.....	11
3.3	Sistema de acoplamento do Rolo de aplicação	13
3.3.1	Sistema de veio - Em vigor	13
3.3.2	Sistema de encaixe direto - Proposta	14
3.4	Medição de ângulo de contacto	14
3.5	Pressão de aplicação	16
4	Resultados e Discussão.....	17
4.1	Uniformização da espessura da camada de revestimento	17
4.1.1	Viscosidade vs Desvio Padrão	18
4.1.2	Desvio Padrão entre linhas de produção	19
4.1.3	Distribuição de carga entre colunas da folha-de-flandres	20
4.1.4	Método de medição de espessura	22
4.1.5	Auditoria no final de Projeto - Uniformização.....	23

4.1.6	Sistema de Acoplamento de Rolos de aplicação.....	24
4.1.7	Modificação de acoplamento da máquina envernizadora.....	26
4.1.8	Ângulo de contacto	26
4.1.9	Pressão ao longo da folha-de-flandres	27
4.2	Controlo de consumo de revestimentos	27
4.2.1	Desvio de consumo.....	27
4.2.2	Desvio de consumo vs viscosidade	29
4.2.3	Fator Humano.....	29
4.2.4	Balanço de consumos.....	30
4.2.5	Índice capacidade do processo de, C_{pk}	30
4.2.6	Auditoria no final de Projeto - Controlo de consumos	31
5	Conclusões	33
5.1	Outros trabalhos realizados.....	34
5.2	Limitações e Trabalho Futuro	37
6	Bibliografia	38
Anexo 1	Controlo da viscosidade (η)	40
Anexo 2	Viscosidade vs desvio padrão	41
Anexo 3	Ângulos de Contacto.....	42
Anexo 4	Desvio do Consumo	43
Anexo 5	Desvio viscosidade (η) vs Desvio do Consumo	45
Anexo 6	Resultado da utilização do Prescale Film.....	Erro! Marcador não definido.

Índice de figuras

<i>Figura 1. Esquema do processo de produção de embalagens metálicas. (Adaptado de [4])</i>	1
<i>Figura 2. Esquema de uma linha de envernizamento. [9]</i>	3
<i>Figura 3. Esquema do módulo de aplicação de revestimento na folha-de-flandres. (adaptado de [10])</i> ..	4
<i>Figura 4. Rolo de aplicação</i>	7
<i>Figura 5. Ford Cup nº4.</i>	9
<i>Figura 6. Sencon Coatings Thickness Gauge by Innosen®.</i>	11
<i>Figura 7. Pontos de medição na folha-de-flandres.</i>	12
<i>Figura 8. Sistema de acoplamento atual. [20]</i>	13
<i>Figura 9. Sistema de acoplamento atual. a) Veio com acoplamento, b) zona de encaixe do veio ao rolo de aplicação.</i>	13
<i>Figura 10. Esquema de proposta de novo sistema de acoplamento. [21]</i>	14
<i>Figura 11. Ilustração do ângulo de contacto de um sistema líquido sólido. [22]</i>	14
<i>Figura 12. Vários ângulos de contacto. [23]</i>	15
<i>Figura 13. Aumento da espessura e diminuição da uniformização da camada. (adaptado de [23])</i>	15
<i>Figura 14. Goniómetro.</i>	16
<i>Figura 15. Esquema de uncionamento do filme de pressão. [25]</i>	16
<i>Figura 16. Variação do desvio padrão nas várias linhas de produção.</i>	20
<i>Figura 17. Subdivisão da folha-de-flandres em 3 colunas, c1,c2 e c3.</i>	21
<i>Figura 18. Colunas onde são observadas as cargas máximas, nas auditorias iniciais.</i>	22
<i>Figura 19. Desvio padrão registado nas auditorias finais, referentes às várias linhas de produção.</i>	23
<i>Figura 20. Colunas onde são observadas as cargas máximas, nas auditorias finais.</i>	24
<i>Figura 21. Índice de controlo da capacidade do processo, C_{pk}, registado nas auditorias iniciais.</i>	31
<i>Figura 22. Instalação utilizada para medição de aderência.</i>	34

Índice de figuras

<i>Tabela 1. Tipo e família de resina dos revestimentos estudados</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2. Análise da viscosidade dos revestimentos.</i>	<i>18</i>
<i>Tabela 3. Estudo da correlação entre o desvio da viscosidade e o desvio padrão.</i>	<i>19</i>
<i>Tabela 4. Razão entre as colunas onde se registaram as cargas máximas, nas auditorias iniciais.</i>	<i>21</i>
<i>Tabela 5. Razão entre as colunas onde se registaram as cargas máximas, nas auditorias finais</i>	<i>24</i>
<i>Tabela 6. Desempenho do rolo protótipo.</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 7. Evolução do ângulo de contacto com a temperatura.</i>	<i>27</i>
<i>Tabela 8. Desvios de consumo verificados nas auditorias iniciais.</i>	<i>28</i>
<i>Tabela 9. Estudo da correlação entre o desvio da viscosidade e o desvio de consumo.</i>	<i>29</i>
<i>Tabela 10. Desvios de consumos verificados nas auditorias finais.</i>	<i>32</i>
<i>Tabela 11. Força necessária para retirar fita-cola de uma superfície revestida.</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 12. Força necessária para retirar a fita-cola de uma superfície cujos revestimentos estão mal curados.</i>	<i>35</i>
<i>Tabela 13. Evolução da aderência com o aumento de peso na aplicação da fita-cola.</i>	<i>36</i>
<i>Tabela 14. Variação da aderência com aumento do tempo de aplicação de pressão</i>	<i>37</i>

Notação e Glossário

C	Capacitância	F
A	Área da superfície da sonda	m^2
ε	Constante dielétrica do revestimento	
d	Espessura de revestimento	m
LSI	Limite superior imposto	
LII	Limite inferior imposto	
\bar{x}	Média	
σ	Desvio padrão	

1 Introdução

Em 1810 um inventor francês, Phillipe de Girard, solicitou a validação de uma patente para substituir a utilização de garrafas e jarros de vidro por latas de folha-de-flandres para a conservação de alimentos. Foi levada a cabo uma experiência por parte da marinha inglesa, que levou este tipo de embalagens para uma das suas campanhas militares. Os resultados foram um sucesso e no ano seguinte a patente foi registada. Em 1812, Bryan Donking adquiriu-a por 1000 libras e começou a desenvolver esta tecnologia. [1]

As embalagens metálicas oferecem uma solução inteligente para o embalamento de produtos alimentares, cosméticos, industriais, entre outros. O facto de ser possível alterar a imagem de cada embalagem, torna mais fácil a propagação e o reconhecimento da marca nos variados mercados mundiais.

Anualmente são produzidas cerca de 85 biliões de embalagens metálicas na Europa [2], sendo esta uma indústria que emprega aproximadamente 70 000 pessoas em cerca de 300 fábricas espalhadas por todo o continente [3].

O processo de fabrico de uma embalagem metálica compreende várias etapas. Na Figura 1, encontra-se um esquema referindo as fases essenciais do processo.

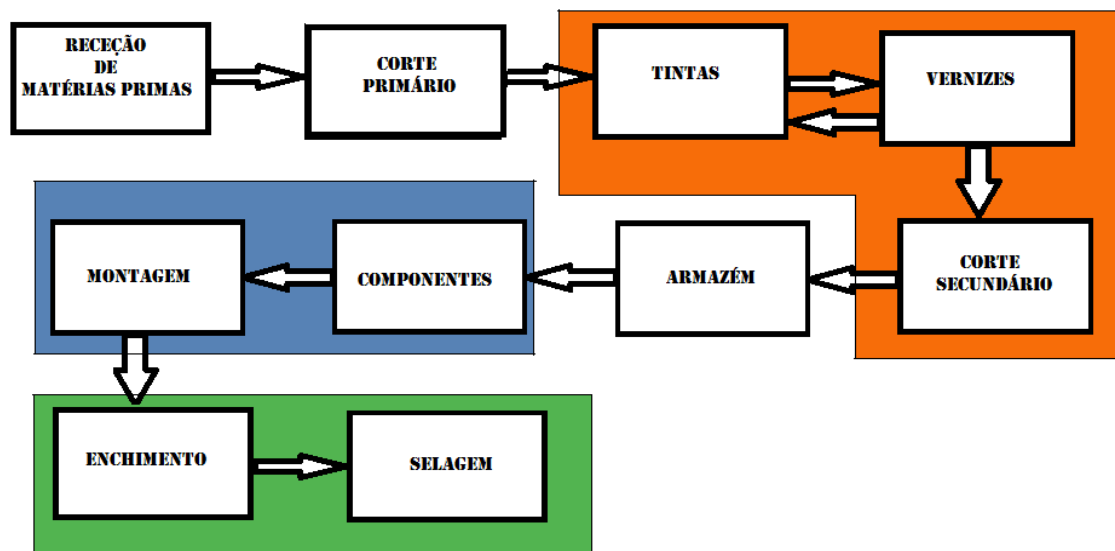


Figura 1. Esquema do processo de produção de embalagens metálicas. (Adaptado de [4])

A matéria-prima utilizada é a folha-de-flandres (ferro e aço de baixo teor de carbono revestido com estanho) [5] que chega à empresa em bobines. De seguida é efetuado um corte primário, onde a bobine é cortada em várias folhas que são empilhadas, formando o balote. Cada balote tem um número diferente de folhas que varia consoante a sua espessura e o destino final.

Posteriormente, passa pela litografia (sombreada a laranja) onde são aplicados os vernizes e as tintas. A folha litografada é encaminhada para um corte secundário e segue para armazém.

Na fase seguinte, as folhas são transferidas para a zona de montagem, onde são feitos os componentes e é dada a forma desejada a cada embalagem. Segue-se o enchimento e posterior selagem, obtendo-se assim o produto acabado.

1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

No controlo de qualidade do processo de aplicação dos vernizes/esmaltes é necessário verificar a quantidade de revestimento aplicada, para isso é medida a espessura da camada de revestimento aplicado. Neste controlo foram detetadas espessuras irregulares ao longo da folha-de-flandres.

O principal objetivo deste projeto consiste em determinar a causa destas diferenças e desenvolver métodos que possam fomentar a uniformização da camada revestimento aplicado.

O trabalho desenvolvido ao longo da dissertação está inserido num projeto interno da empresa intitulado CAPI (Coating Application Process Improvement), que tem como alvo a melhoria da aplicação de revestimentos, bem como a redução do seu consumo.

Os revestimentos têm várias finalidades que conferem às embalagens metálicas propriedades fundamentais que garantem a sua qualidade [6]. Cada verniz e/ou esmalte assegura diferentes funcionalidades às embalagens:

- **Esmaltes** - São normalmente utilizados para preparar uma superfície que vai ser litografada. As principais propriedades de um esmalte devem ser: bom poder de cobertura, pouca variação de cor após sucessivas passagens em estufa, boa flexibilidade, boa aderência à folha metálica e boa compatibilidade com tintas ou outros vernizes. [7]
- **Vernizes interiores** - Funcionam como uma barreira entre a embalagem e o conteúdo, protegendo um do outro. Evitam a corrosão do estanho, que leva a alteração de odor e de sabor do conteúdo, e a corrosão do aço, que provoca fugas de pressão e de produto. Alguns vernizes também têm um efeito decorativo, já que melhoram o aspeto do interior da embalagem. O verniz interior é definido consoante o substrato, a forma da embalagem, o conteúdo e os seus propósitos comerciais. [7]
[8]

- **Vernizes exteriores** - São aplicados no exterior da embalagem, permitindo a proteção dos agentes corrosivos existentes no meio ambiente. Geralmente, estes vernizes também têm a decoração como finalidade. Estes podem ser pigmentados ou transparentes. [1]
- **Vernizes de acabamento** - É a última camada aplicada no exterior da embalagem, protegendo as tintas e os vernizes previamente aplicados. Caso a camada prévia seja uma tinta, estes vernizes terão de ser transparentes. É importante que tenham boas propriedades mecânicas já que será esta a camada que estará em contacto com a maquinaria ao longo do processo de fabrico da embalagem. Normalmente estes revestimentos têm lubrificantes à base de cera. [7]

Na fábrica, onde foi desenvolvida a dissertação, existem 5 linhas de produção onde são aplicados vernizes/esmaltes. A Figura 2 ilustra os equipamentos constituintes das linhas de produção.

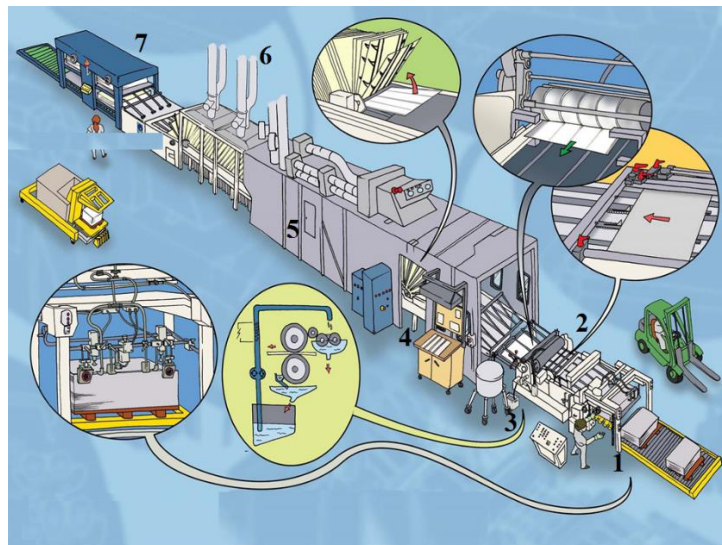


Figura 2. Esquema de uma linha de envernizamento. [9]

No início do processo encontra-se um alimentador (1) que coloca a folha-de-flandres na mesa de transporte através de vácuo. De seguida, a folha é orientada através de guias (2) para a posição pretendida. A jusante encontra-se o local onde é aplicado o revestimento. O revestimento é colocado num caldeiro e a partir deste entra num circuito em que é bombeado para a máquina envernizadora, em que o excesso retorna ao caldeiro (3). A folha passa entre dois rolos, onde é envernizada. Posteriormente a folha assenta no garfo (4) que a coloca na vertical e a leva para o forno (5), à saída do forno há uma zona de arrefecimento (6) seguida

do descarregador automático (7). Acabada esta etapa a folha está envernizada e pode ser encaminhada para a outra zona do processo de fabrico.

O módulo de aplicação de verniz na folha-de-flandres é ilustrado na figura 3.

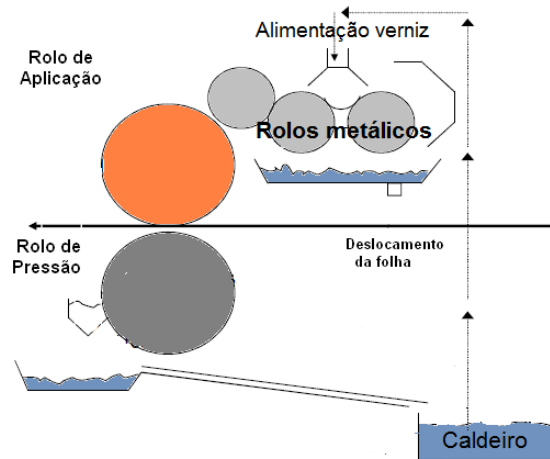


Figura 3. Esquema do módulo de aplicação de revestimento na folha-de-flandres. (adaptado de [10])

Há um sistema de rolos metálicos que antecede o rolo de aplicação, onde é alimentado o revestimento. Estes rolos têm como objetivo dispersá-lo, assim quando o rolo aplicador contacta com o rolo metálico é transportada a mesma quantidade de revestimento ao longo de todo o seu comprimento.

É a pressão exercida entre estes dois rolos que facilita a aplicação do revestimento na folha-de-flandres.

1.2 Apresentação da Empresa

A Colep foi fundada em 1965 e pertence atualmente ao grupo RAR, tendo como principal área de negócio a produção de embalagens metálicas para vários tipos de mercados: produtos alimentares, cosmética, produtos do lar e produtos industriais. Para além de produzir as embalagens procede também ao enchimento de aerossóis. Tem outras duas áreas de negócio: produção de embalagens plásticas e Co-packing. Esta última caracteriza-se pela montagem de produtos acabados, como os ambientadores de casa de banho.

A Colep tem fábricas em várias partes do mundo, nomeadamente: Portugal, Alemanha, Polónia, Espanha, México, Emirados Árabes Unidos e Brasil. Atualmente é líder ibérica na produção de embalagens industriais e uma referência europeia na produção de embalagens de aerossóis [11].

A sede da empresa localiza-se em Vale de Cambra, num complexo que emprega cerca de 1000 colaboradores e onde tem fábricas de todas as áreas de negócio mencionadas.

1.3 Contributos do Trabalho

Com este projeto foi possível determinar o estado da uniformização da camada de revestimento das folhas envernizadas nas várias linhas de produção e definir métodos de trabalho que têm como base o maior controlo da espessura de revestimento aplicado ao longo da folha-de-flandres.

A análise aos desvios encontrados entre as espessuras previstas e as registadas apresentou a necessidade de afinar o método de aplicação e, deste modo, otimizar o consumo dos revestimentos. As alterações efetuadas foram orientadas para reforçar as metodologias de controlo de verniz aplicado.

Paralelamente, iniciou-se o estudo de alguns fatores que poderão influenciar a colagem de folhas-de-flandres revestidas, pelo que se podem desenvolver mecanismos processuais que visem diminuir o fenómeno de enresmar.

1.4 Organização da Tese

No primeiro capítulo encontra-se uma introdução ao projeto, onde se esquematiza o processo de fabrico das embalagens metálicas e onde se faz uma breve descrição do processo de aplicação de revestimentos.

No capítulo dois, encontra-se um levantamento de fatores importantes no processo de aplicação de revestimentos. São apresentadas as suas propriedades e a influência de cada uma delas no envernizamento da folha-de-flandres.

No capítulo três é efetuada uma descrição dos métodos de análise assim como uma explicação sucinta do princípio de funcionamento dos equipamentos utilizados.

No capítulo quatro, apresentam-se e discutem-se os resultados das análises à uniformização da camada aplicada de revestimentos e dos seus consumos.

As conclusões finais da dissertação, as limitações observadas e o trabalho futuro proposto, são partes integrantes do capítulo cinco, assim como, a descrição de um trabalho realizado paralelamente a este projeto.

2 Contexto e Estado da Arte

O método de aplicação dos revestimentos mais utilizado na indústria das embalagens metálicas é a envernizadora de rolos [5]. Esta aplicação pode ser em contínuo ou em descontínuo. Na empresa onde foi desenvolvida a dissertação o método de aplicação é com uma envernizadora de rolos em descontínuo, o que possibilita a utilização de uma maior variedade de vernizes e de uma maior diversidade de rolos de aplicação. Esta tecnologia envolve um investimento menor que uma envernizadora de rolos em contínuo, mas tem uma produtividade inferior e é mais difícil fazer o ajuste das folhas [12].

Há vários parâmetros a controlar no processo de aplicação de vernizes/esmaltes, uns relacionados com a máquina envernizadora, outros relacionados com o verniz. Os parâmetros mais relevantes são:

- Rolo aplicador
- Velocidade de funcionamento da máquina
- Cura
- Viscosidade de aplicação
- Temperatura de aplicação
- Carga de verniz na folha

De seguida será explicada a influência de cada um destes parâmetros na folha envernizada.

2.1 Rolo de aplicação

O rolo de aplicação é um cilindro de aço revestido por borracha sintética, que garante a aplicação do revestimento na folha sem a danificar. São muito sensíveis aos solventes do verniz e com o seu uso continuado podem inchar ou mesmo fissurar. Estes fenómenos estão ligados à dureza do material [8]. Na Figura 4, encontra-se uma fotografia de um rolo de aplicação.



Figura 4. Rolo de aplicação

Este rolo pode funcionar travado ou destravado. Esta designação não está diretamente ligada ao sentido lato da palavra travar porque em ambas as posições o rolo está constantemente a girar. Funcionar travado significa que a velocidade com que as folhas entram no sistema de rolos é proporcional à velocidade de rotação do rolo. Assim, todas as folhas passam no mesmo local do rolo, sendo a aplicação efetuada sempre na mesma zona.

Este é o modo normal de funcionamento das máquinas, já que traz várias vantagens. Se o rolo estiver danificado na zona em que a folha passa, é possível pô-la a passar numa outra zona do rolo fazendo com que os custos de manutenção sejam menores.

Quando o rolo está irremediavelmente danificado, é encaminhado para a zona de retificação, procedendo-se à remoção de uma pequena camada de borracha para que desapareçam todas as imperfeições.

Com o rolo destravado, as folhas vão passando por zonas diferentes do rolo, sendo mais difícil controlar a aplicação de revestimento.

A baixa dureza do rolo de aplicação (40-45 unidades de Shore A) torna possível cortá-lo de forma a ter as reservas necessárias para cada tipo de embalagem. A reserva é uma reentrância no rolo que não transporta verniz. Existem diversas razões para estas reservas, sendo a mais importante a questão de não poder haver revestimentos na zona da soldadura das embalagens, caso contrário não é viável soldar. Na empresa, onde foi realizada a dissertação, há mais de uma centena de rolos aplicadores.

Outro fator importante é garantir que as propriedades da camada de borracha são iguais ao longo de todo o rolo, de forma a haver uma maior uniformização na aplicação de revestimento.

2.2 Velocidade de funcionamento da máquina

Se a velocidade de funcionamento da máquina aumentar, a velocidade a que giram os rolos também aumenta. Este aumento pode levar a que o revestimento que se encontra entre os

rolos se desprenda do rolo, devido ao aumento da força centrífuga, originando gotas de verniz nas folhas antes destas entrarem na máquina envernizadora. Isto causará defeitos no produto final.

Também há o risco de formação de espuma no verniz podendo causar bolhas de ar na película aplicada que terão um impacto negativo no aspeto final da folha-de-flandres

Uma velocidade muito alta, leva a um aumento da turbulência da máquina o que afeta a estabilidade da passagem da folha no rolo aplicador. [8]

Por fim, sendo a máquina um módulo compacto, com o aumento da velocidade de funcionamento, menos tempo ficam as folhas no forno, sendo mais curto o tempo de cura do revestimento.

2.3 Cura

O processo de cura dos revestimentos tem duas etapas: evaporação dos solventes e a polimerização da resina constituinte do verniz/esmalte. Este processo dá-se no forno.

Quando o revestimento está polimerizado atinge as propriedades físicas e químicas adequadas, mas esta reação só se dá a uma temperatura específica durante um período de tempo recomendado por cada fornecedor. Por isso é necessário trabalhar com o forno a uma temperatura e velocidade controlada. Cada forno tem uma curva de temperatura particular e está dividida em 3 fases: [13]

- Fase inicial - as folhas elevam a sua temperatura até à PMT (*Peak Metal Temperature*). Esta temperatura é referente à temperatura a que se encontra a folha;
- Fase de estabilização - as folhas são mantidas na PMT;
- Fase de arrefecimento - as folhas são arrefecidas até à temperatura ambiente.

Se a temperatura não estiver dentro da gama estipulada e/ou se a folha passar pouco tempo dentro do forno, a polimerização não é completa. Assim, o revestimento não adquire as propriedades necessárias e pode originar problemas a jusante do processo. [8]

2.4 Viscosidade

Quanto mais viscoso é um fluido, maior a resistência que este oferece ao escoamento devido ao aumento do atrito, logo mais difícil se torna o processo de circulação do revestimento, assim como, a própria aplicação. Viscosidades demasiado elevadas podem fazer com que a folha fique colada ao rolo aplicador, podendo danificá-lo. [14]

A viscosidade deve ser controlada durante a aplicação do revestimento. Nesta indústria a viscosidade é medida pelo tempo que um volume controlado demora a passar num orifício de tamanho normalizado (viscosidade de escoamento). Na empresa onde foi desenvolvida a presente dissertação foi utilizado o Ford Cup n° 4. Ao longo da dissertação a viscosidade será sempre em segundos (s).



Figura 5. Ford Cup n°4.

Os solventes constituintes do verniz são muito voláteis, por isso quando estes evaporam, a viscosidade do revestimento aumenta. O tempo de armazenamento do verniz também influencia a viscosidade.

2.5 Temperatura

A temperatura é um parâmetro chave para o controlo da viscosidade.

Quanto maior a temperatura do verniz, menor a sua viscosidade. Porém aumenta a probabilidade dos solventes constituintes do verniz evaporarem ficando o verniz com uma maior percentagem de sólidos (peso), e conseqüentemente com maior viscosidade no caldeiro de alimentação à máquina. Por estes motivos, ao longo do processo deve ser controlada a temperatura. [7] [14]

Quando a temperatura ambiente está muito baixa, a viscosidade dos vernizes é muito alta. Nestes casos é aconselhável baixar a viscosidade com a adição de solventes ou com o aumento de temperatura através de resistências elétricas (preferencial).

Grandes diferenças de temperatura entre o verniz e a folha causam problemas na aplicação, dificultando a uniformização do espalhamento. [7]

2.6 Medição da espessura de revestimento (carga do revestimento)

Este é um importante fator de qualidade porque permite que haja um maior controlo do processo.

A medição da camada de verniz deve ser efetuada no fim do processo (depois do forno), caso contrário, há o risco de estar a ser medida uma camada com constituintes do verniz que acabaram por evaporar (solventes).

A um excesso de revestimento aplicado está associado um aumento dos custos de produção, e no caso dos vernizes de acabamento, leva a uma perda de brilho. Se for aplicado menos verniz do que o recomendado, a embalagem não vai ter a mesma resistência, quer mecânica, quer química, podendo causar problemas no processo de montagem. [1]

3 Materiais e Métodos

3.1 Medição da espessura de verniz e esmalte aplicada

A medição da espessura da camada aplicada de verniz/esmalte foi efetuada utilizando o *Sencon Coatings Thickness Gauge*, instrumento desenvolvido pela *Innosen*®.



Figura 6. *Sencon Coatings Thickness Gauge* by *Innosen*®.

Este instrumento mede a capacitância entre a ponta da sonda e a folha-de-flandres [15]. A capacitância define-se como a capacidade de um corpo armazenar uma carga elétrica, a ponta da sonda e a folha-de-flandres funcionam como um capacitor de placas planas e o verniz como um dielétrico. Assim a capacitância é dada pela equação 3.1 [16]:

$$C = \frac{\epsilon \times A}{d} \quad (3.1)$$

A área da sonda é constante e o sistema de calibração do aparelho exige uma amostra padrão para cada revestimento. Este padrão tem a mesma constante dielétrica que o revestimento a medir, assim o único parâmetro que varia é a espessura. O medidor compara a capacitância lida com o valor da capacitância padrão e correlaciona as suas espessuras. A espessura é convertida em peso, sendo o valor que o aparelho apresenta o valor da espessura como um peso por unidade de área, g.m^{-2} .

Ao longo da dissertação a espessura da camada aplicada será denominado de carga de revestimento.

3.2 Método de análise

Cada auditoria consistiu na análise de 10 folhas retiradas de ordens de produção, referentes à aplicação de um dado revestimento. Foram registadas algumas propriedades do verniz/esmalte (temperatura e viscosidade) e da linha (rolo utilizado e velocidade) no momento de aplicação, de forma a perceber se as variações influenciam os resultados obtidos.

A carga de revestimento foi medida em nove pontos de cada folha (figura 7).

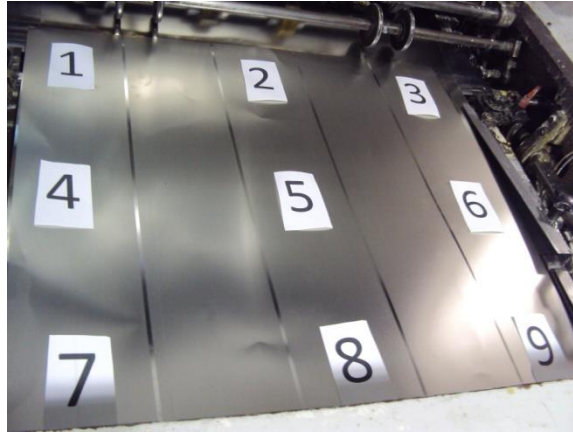


Figura 7. Pontos de medição na folha-de-flandres.

Depois de registada a carga de todas as zonas das 10 folhas, foi calculada a média dos pontos de medição e o seu desvio padrão. Isto permite-nos estudar dois fenómenos:

- **Uniformização da camada de revestimento aplicado** - o desvio padrão mede a dispersão dos valores medidos relativamente à média [17], assim quanto maior o desvio padrão menor a uniformização da camada aplicada.
- **Quantidade de revestimento aplicado** - é através da carga média de cada auditoria que se controla a quantidade de verniz aplicado.

Ao projeto foram aplicados os métodos de controlo *Six Sigma Quality*. Esta filosofia é utilizada por companhias de grandes dimensões (p.ex. General Electric e Motorola) e tem como objetivo eliminar defeitos nos produtos e nos processos. Segundo esta filosofia, um defeito caracteriza-se por um componente que não cumpre os limites impostos pelo cliente [18].

Uma das ferramentas utilizadas por este método é o cálculo do índice de capacidade do processo, C_{pk} . Este índice revela o quanto um dado controlo (neste caso a carga de verniz) se adequa aos limites de especificação impostos. [19]

O C_{pk} é calculado a partir da equação 3.2.

$$C_{pk} = \min \left[\frac{x-LII}{3\sigma} \vee \frac{LSI-x}{3\sigma} \right] \quad (3.2)$$

A média e o desvio padrão utilizado no cálculo do C_{pk} são os referentes à amostragem de cada ordem de produção (10 folhas). Para processos que já estão implementados, o valor mínimo que este índice deve apresentar é 1,3. Segundo este método estatístico, só a partir deste valor é que o processo se encontra totalmente controlado. [19]

3.3 Sistema de acoplamento do Rolo de aplicação

À máquina envernizadora são acoplados os rolos de aplicação de revestimento. Este acoplamento é efetuado através de umas engrenagens que encaixam na envernizadora. Uma das causas para a diferença da camada de verniz aplicado pode ser o método de o acoplamento do rolo à máquina.

3.3.1 Sistema de veio – Em vigor

Este sistema é o atualmente utilizado na empresa e encontra-se esquematizado na Figura 8.

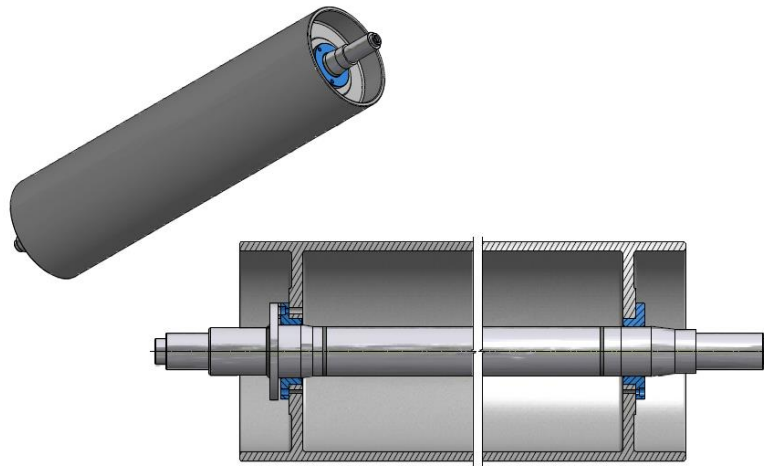


Figura 8. Sistema de acoplamento atual. [20]

Os rolos de aplicação são ocios e têm um orifício onde é encaixado um veio. Neste veio estão integrados, nas extremidades, os acoplamentos à máquina envernizadora.



a)

b)

Figura 9. Sistema de acoplamento atual. a) Veio com acoplamento, b) zona de encaixe do veio no rolo de aplicação.

Em cada linha de produção existe um veio que vai sendo encaixado nos rolos de aplicação. Caso haja alguma anomalia no veio a produção será prejudicada repetitivamente. Antes do início do

projeto todos os veios foram retificados. As auditorias realizadas ao longo do projeto foram efetuadas em folhas revestidas utilizando este sistema de acoplamento.

3.3.2 Sistema de encaixe direto – Proposta

A origem da não-uniformidade poderá estar no sistema de acoplamento atual, pelo que foi desenvolvido um sistema em que os acoplamentos estavam fixos ao rolo. A Figura 10 esquematiza o sistema proposto.

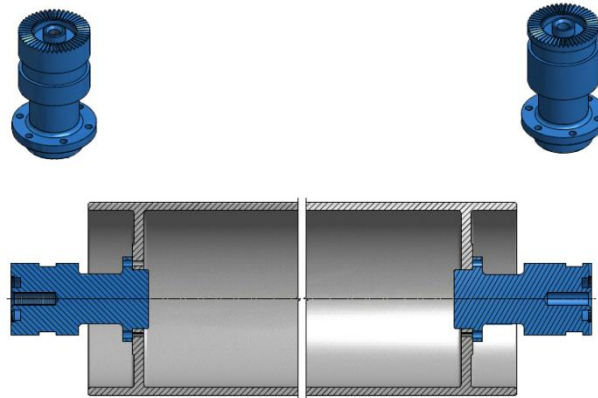


Figura 10. Esquema de proposta de novo sistema de acoplamento. [21]

Foi construído o protótipo de um rolo com este sistema e foi testado com o objetivo de verificar se o sistema proposto origina uma maior uniformização da espessura da camada aplicada.

3.4 Medição de ângulo de contacto

O ângulo de contacto de uma gota de líquido numa superfície sólida é definido pelo equilíbrio mecânico da gota sob a ação de três tensões interfaciais: sólido-vapor, sólido-líquido, líquido-vapor. [22]

Este ângulo é facilmente medido traçando uma tangente entre o ponto de contacto da interação sólido-líquido e a líquido-vapor. Na Figura 11 está esquematizada a definição de ângulo de contacto.

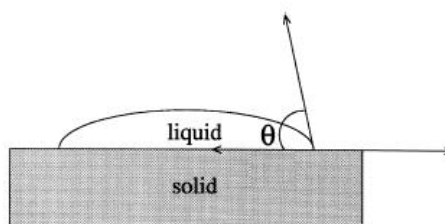


Figura 11. Ilustração do ângulo de contacto de um sistema líquido-sólido. [22]

O ângulo de contacto varia consoante o líquido e a superfície, ou seja, o mesmo líquido em contacto com diferentes superfícies tem ângulos de contactos diferentes e vice-versa.

Como se pode verificar na Figura 12, quanto menor o ângulo de contacto, maior o espalhamento do líquido na superfície, por outro lado, se houver um grande ângulo de contacto a gota não se de forma (por exemplo o mercúrio).

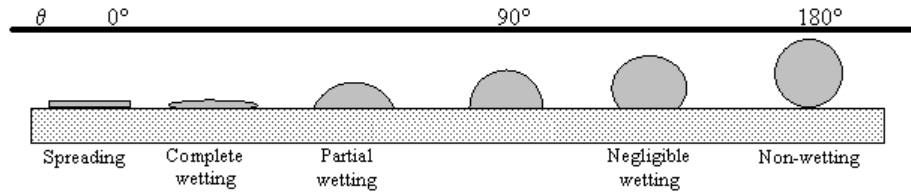


Figura 12. Vários ângulos de contacto. [23]

Quando o ângulo de contacto é elevado, maior a probabilidade de existir uma diferença na espessura do líquido na superfície. Para além disto, quanto maior o ângulo de contacto, maior a espessura de verniz. Estes fenómenos estão ilustrados na figura 13.

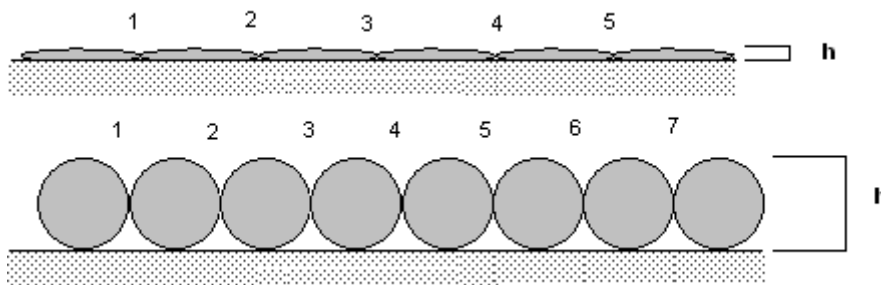


Figura 13. Aumento da espessura e diminuição da uniformização da camada. (adaptado de [23])

O objetivo é conhecer a temperatura a que a folha-de-flandres deve estar, para que o ângulo de contacto formado entre o verniz e a superfície seja o menor possível.

O equipamento utilizado para medir o ângulo de contacto foi o goniómetro (Figura 14). Este equipamento é constituído por uma plataforma (onde se coloca a superfície de contacto), uma seringa (para formar uma gota), uma fonte de iluminação e uma câmara de alta resolução. Através da câmara é possível ampliar a imagem da zona de contacto entre a gota e a superfície. No programa informático do equipamento é definida a linha base onde a gota pousa e de seguida são efetuadas várias medições do ângulo de contacto. [24]



Figura 14. Goniômetro.

Para cada superfície foram efetuados três ensaios, o ângulo de contacto referente à amostra é obtido através da média dos ângulos de contacto medidos, com erro (calculado pelo equipamento) inferior a 5%.

3.5 Pressão de aplicação

A pressão entre o rolo de aplicação e o rolo de pressão é fundamental para uma aplicação uniforme da camada. É importante perceber se ao longo de todo o rolo a pressão aplicada é a mesma, e caso não seja, importa perceber se a variação de pressão leva a uma variação significativa da carga.

Para isso foi utilizado uma película que altera de cor mediante a pressão que lhe é exercida.

Esta película é revestida com microcápsulas que contêm tinta. Quando estas são sujeitas a uma determinada pressão rebentam e a tinta reage com a película tingindo-a [25]. O princípio de funcionamento desta película encontra-se na Figura 15.

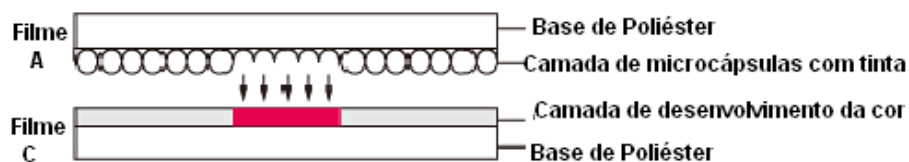


Figura 15. Esquema de funcionamento da película de pressão. [25]

Quanto maior for a pressão mais nítida é a cor e vice-versa. Esta película pode ser aplicada na folha-de-flandres sem qualquer risco para o rolo, já que têm uma espessura muito pequena.

Esta película foi colocada em diferentes pontos de várias folhas de forma a verificar quais as zonas onde a pressão exercida é maior.

4 Resultados e Discussão

Foi observada uma diferença de espessura ao longo da folha-de-flandres, após a aplicação dos vernizes/esmaltes sob a folha. Pretende-se determinar os fatores que influenciam a variação observada.

Realizou-se um conjunto de auditorias a partir das quais se estabeleceram os parâmetros a serem trabalhados. Também foram estudados os consumos dos vernizes e esmaltes mais utilizados.

4.1 Uniformização da espessura da camada de revestimento

Ao longo da dissertação, o desvio padrão refere-se sempre ao desvio padrão das cargas medidas em cada auditoria. Esta foi a ferramenta estatística utilizada para quantificar a uniformidade da espessura da camada aplicada de vernizes/esmaltes.

No início do projeto, foram efetuadas 83 auditorias em ordens de produção referentes à aplicação dos vários vernizes/esmaltes utilizados na fábrica. Na Tabela 1 é possível verificar a família química das resinas dos respectivos vernizes/esmaltes.

Tabela 1. Tipo e família de resina dos revestimentos estudados

Tipo revestimento	Família da Resina	Referência
Esmalte	Acrílico	A
Acabamento	Poliéster	B
Ouro	Epóxi fenólico	C
Esmalte	Acrílico	D
Acabamento	Éster de Epóxi	E
Acabamento	Acrílico	F
Ouro	Epóxi Fenólico	G
Primário	Acrílico modificado	H
Esmalte	Poliéster	I
Primário	Epóxi	J
Ouro	Epóxi Fenólico	K
Ouro	Epóxi Fenólico	L
Pigmentado	Epóxi	M
Ouro	Epóxi Fenólico	N
Acabamento	Poliéster	O
Ouro	Epóxi Fenólico	P
Esmalte	Poliéster	Q

Inicialmente, foram estudadas as hipóteses da origem da variação da espessura estar em: algum problema mecânico associado às linhas de produção, nas propriedades dos vernizes, ou no método de trabalho dos operadores.

De seguida foram introduzidas alterações ao processo que poderão melhorar a uniformização da camada.

4.1.1 Viscosidade vs Desvio Padrão

Todos os vernizes/esmaltes têm limites de viscosidade de aplicação definidos, que garantem a correta aplicação dos respetivos revestimentos. Quando a viscosidade é elevada, os operadores adicionam diluente até que esta se encontre dentro dos valores recomendados. Outro método de controlo da viscosidade é a elevação da temperatura dos revestimentos até 25 °C recorrendo a uma resistência elétrica. Quando a viscosidade está mais baixa que o pretendido, não é possível retificar, porque a fábrica não possui os meios necessários baixar a temperatura dos revestimentos.

Durante as auditorias, foi analisada a viscosidade de aplicação. O resumo dos resultados encontra-se na tabela 2. Os dados detalhados encontram-se no Anexo 1.

Tabela 2. Análise da viscosidade dos revestimentos.

	Dados fora de especificação (%)	Viscosidade (s)		
		Média	Limite Superior	Limite Inferior
A	92	117	168	140
B	75	100	92	80
C	100	78	53	41
D	100	130	113	93
E	40	116	113	50
F	50	139	150	111
G	100	104	80	70
H	100	64	51	41

O esmalte A regista uma média de viscosidades mais baixa que o aconselhado. Este esmalte é normalmente armazenado dentro de uma cuba. Quando esta é abastecida, os operadores acrescentam diluente, sem medirem a viscosidade do produto. Assim, é natural que seja adicionado diluente em excesso, resultando na diminuição da viscosidade.

É notória a discrepância ente as viscosidades observadas e as recomendadas. Os revestimentos E e F são os que apresentam menos valores fora de especificação. Em contrapartida os produtos C,D,G e H nunca apresentaram a viscosidade dentro do intervalo predefinido. Á diferença entre

os valores das viscosidades medidas e os limites impostos, denominar-se-á desvio de viscosidade (equação 4.1)

Dadas as variações registadas, estudou-se a dependência do desvio padrão das cargas registadas com o desvio da viscosidade. Para o efeito, foi calculado o coeficiente de correlação por postos de Kendall (τ_b).

Este coeficiente observa o grau de associatividade entre duas variáveis. Este índice varia de [-1;1]. O valor máximo da escala representa uma correlação direta perfeita enquanto o valor mínimo, uma correlação inversa perfeita [26].

Calculado este índice foi efetuado um teste estatístico para um nível de significância de 5 %. As hipóteses são:

$H_0 : \tau_b = 0$ \longrightarrow Não existe associação entre os fatores

$H_1 : \tau_b \neq 0$

Os resultados obtidos encontram-se na tabela 3.

Tabela 3. Estudo da correlação entre o desvio da viscosidade e o desvio padrão.

Verniz/esmalte	A	B	C	D	E	F	G	H
τ_b	0,37	0,22	-0,41	0,11	-0,47	0,23	-0,79	0,17
P-value	0,11	0,41	0,34	0,72	0,07	0,52	0,05	0,53

Em todos os testes efetuados a hipótese nula não pode ser rejeitada, dado que o P-value é maior que o nível de significância ($\alpha = 0,05$). Do ponto de vista estatístico, não é possível concluir que exista uma correlação entre o desvio da viscosidade e o desvio padrão das espessuras de revestimento.

4.1.2 Desvio Padrão entre linhas de produção

Para analisar a influência das máquinas de envernizamento na uniformização da espessura da camada, estudou-se o desvio padrão obtido nas auditorias referentes às várias linhas de produção. A Figura 16 ilustra os resultados obtidos.

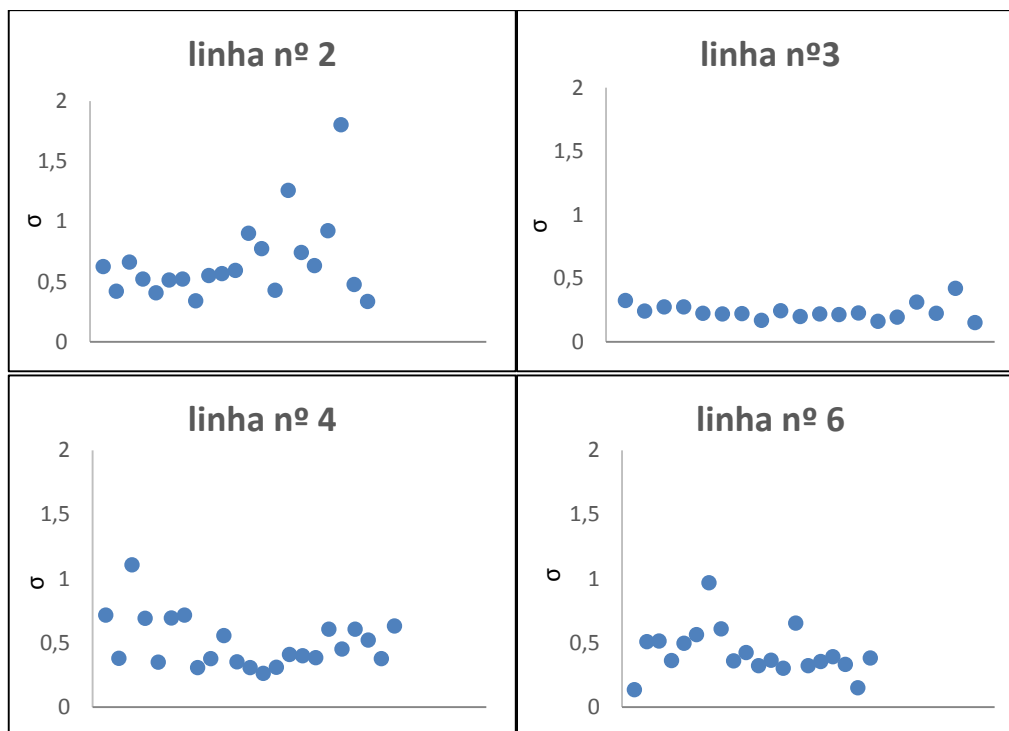


Figura 16. Variação do desvio padrão da carga de revestimento nas várias linhas de produção.

A linha de produção nº 2 é a que apresenta o maior desvio padrão entre as cargas medidas, assim como, a maior dispersão de resultados. As produções auditadas nas linhas nº 6 e nº 4 também apresentaram desvios padrão elevados, bem como uma considerável variabilidade.

A linha nº 3 regista o desvio padrão mais baixo e uniforme. Esta é a linha de produção que dá mais fiabilidade ao processo de envernizamento.

Os desvios padrão obtidos através da medição de carga seguem diferentes tendências nas várias linhas de produção. Problemas mecânicos ou diferentes afinações das máquinas envernizadoras, por parte dos operadores, poderão justificar as oscilações verificadas.

4.1.3 Distribuição de carga entre colunas da folha-de-flandres

O desvio padrão calculado não indica qual a zona da folha-de-flandres em que a espessura de revestimento é mais elevada. No tratamento de dados, subdividiu-se a folha-de-flandres em três colunas (Figura 17) e contabilizou-se a quantidade de auditorias em que cada coluna registou as cargas mais elevadas. Desta forma é possível aferir se a máquina está a aplicar mais revestimento numa determinada zona. Na análise só consta a coluna 1 e a coluna 3, uma vez que apenas estas podem ser reguladas na máquina envernizadora.

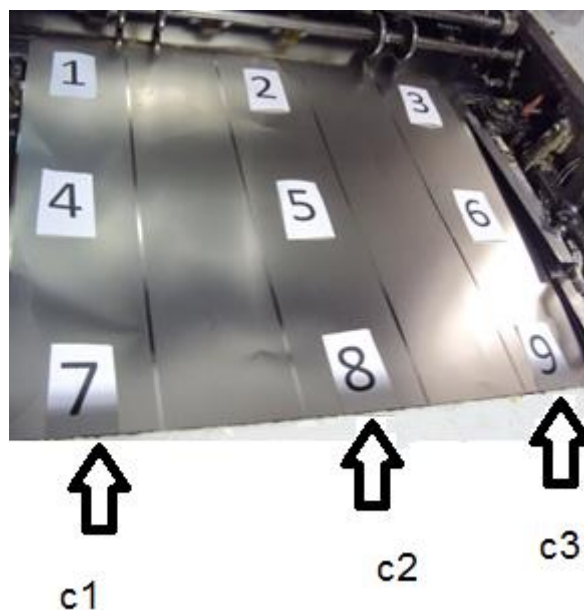


Figura 17. Subdivisão da folha-de-flandres em 3 colunas, c1, c2 e c3.

Se a aplicação fosse uniforme, a quantidade de auditorias em que se registava a carga máxima na coluna 1 (c1) seria igual à da coluna 3 (c3). Para quantificar o desnível, definiu-se a razão entre as quantidades contabilizadas nas duas colunas.

$$Razão = \frac{\text{coluna com menor incidência}}{\text{coluna com maior incidência}} \quad (4.1)$$

Na Tabela 4, encontra-se a razão calculada nas várias linhas de produção. A incidência das zonas onde são registadas as cargas máximas está ilustrada na Figura 18.

Estes dois fatores devem ser analisados em conjunto sendo que a razão refere-se à distribuição das cargas máximas e os gráficos de barras às zonas onde estas são registadas. O que se procura obter é um somatório de percentagens próximas de 200 % e uma razão próxima de 1.

Tabela 4. Razão entre as colunas onde se registaram as cargas máximas, nas auditorias iniciais.

	Razão
Linha nº 2	0,42
Linha nº 3	0,31
Linha nº 4	0,10
Linha nº 6	0,11

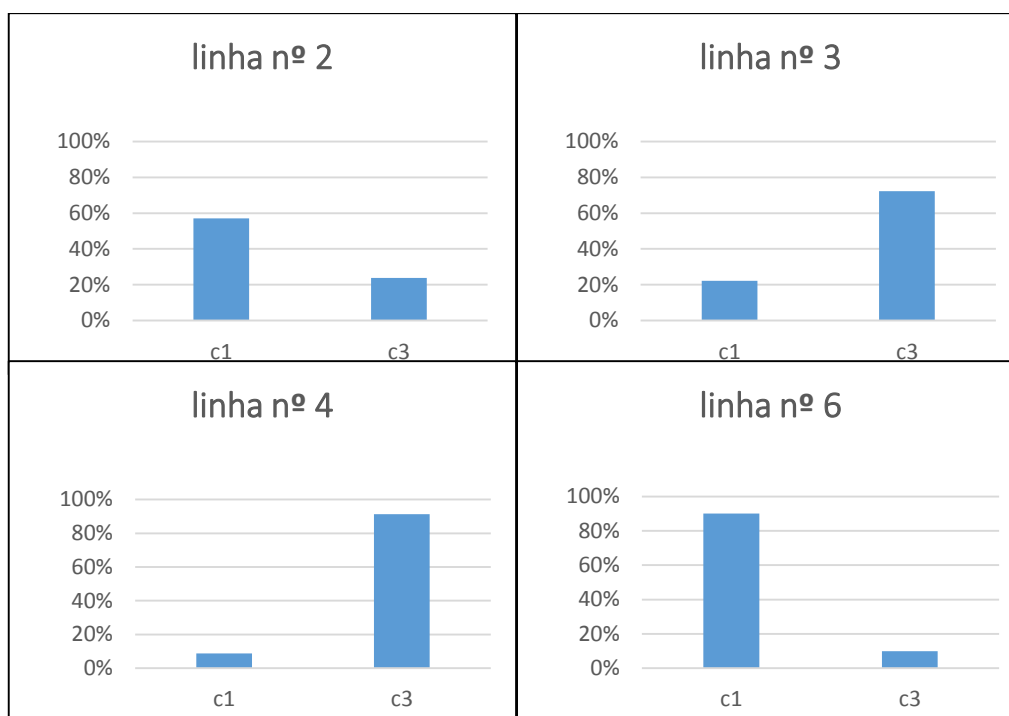


Figura 18. Colunas onde são observadas as cargas máximas, nas auditorias iniciais.

Esta análise deve ser complementar à análise do desvio padrão. Assim, a linha nº 3 apresenta um desnível para a coluna 3, contudo o desvio padrão das cargas registadas é baixo, logo este desnível não é preocupante. O desnível verificado nas linhas nº 4 e 6 é mais problemático porque são maiores as diferenças entre as cargas registadas.

A linha nº 2 apesar de ter os desvios padrão muito altos, não é a que apresenta um maior desnível.

Só os colaboradores do departamento da manutenção ajustam o manípulo que controla as extremidades do rolo. Uma formação que vise ensinar os operadores a trabalhar com este manípulo facilitará o controlo da uniformização da espessura de vernizes/esmaltes na folha-de-flandres.

4.1.4 Método de medição de espessura

Aquando das auditorias, no início do projeto, o controlo de carga da folha era feito por diferença de pesagem entre uma folha não envernizada e a mesma folha envernizada. Durante o processo de controlo, os operadores tinham que realizar várias operações matemáticas e arredondamentos aumentando assim a hipótese de existência de erros nas medições. Por outro lado, este método não ilustra a variação das cargas ao longo da folha, não sendo possível os operadores saberem o estado da uniformização das folha que estavam a revestir.

Depois de verificado o estado da não uniformidade da camada, o equipamento utilizado no desenvolvimento da dissertação, *Sencon Coatings Thickness Gauge* começou a ser o método de

medição de carga no controlo de qualidade. Desta forma, os colaboradores já sabem qual a zona onde têm que fazer uma melhor afinação. Esta alteração ao método de trabalho é importante para o cumprimento dos objetivos propostos.

4.1.5 Auditoria no final de Projeto – Uniformização

No final do Projeto foram realizadas 34 auditorias nas mesmas linhas de produção. Nestas auditorias, foi possível verificar se as alterações nos métodos de trabalho e as recomendações dadas aos colaboradores melhoraram o processo de envernizamento.

A primeira análise é a do desvio padrão da carga de revestimento. A figura 19 ilustra os desvios padrão registados nas auditorias respetivas a cada linha de produção.

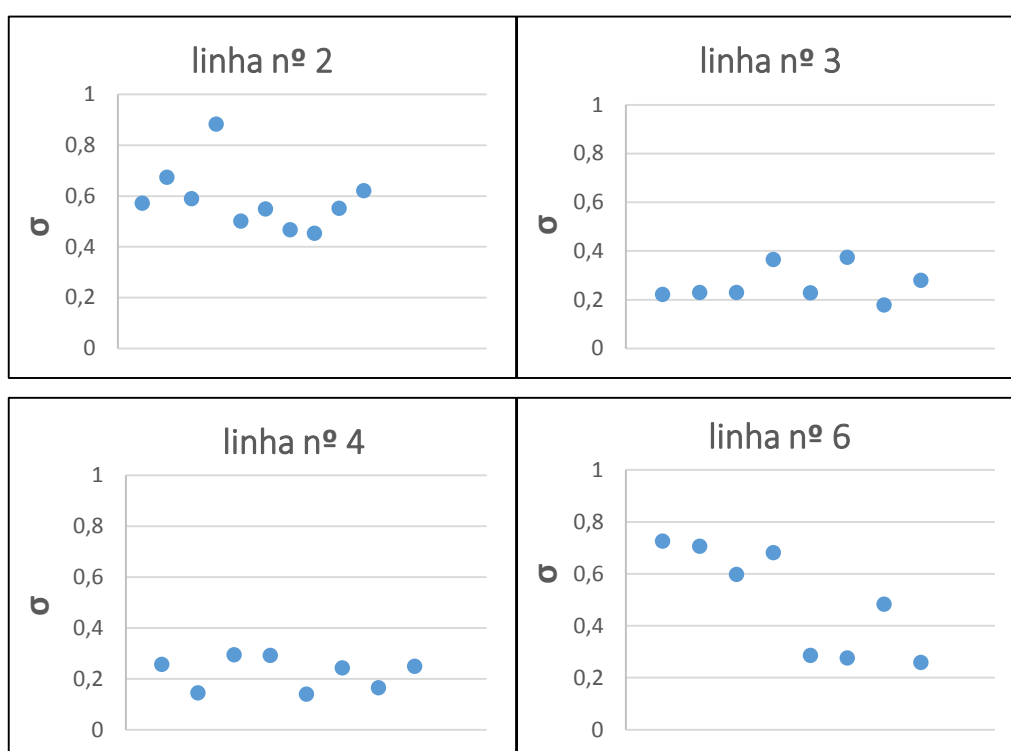


Figura 19. Desvio padrão registado nas auditorias finais, referentes às várias linhas de produção.

A linha nº 2 manteve a tendência para desvios padrão mais elevados. Apesar de se continuar a verificar muita aleatoriedade, os valores estão mais estáveis. Esta tendência também foi verificada na linha nº 6. A linha nº 3, por sua vez, manteve o desvio padrão baixo e estável. A grande melhoria foi observada na linha nº 4. O desvio padrão baixou consideravelmente, revelando uma estabilidade muito próxima da linha nº 3.

Também se analisaram as zonas onde foram registadas as cargas mais altas. A Tabela 5 e a Figura 20 exibem os resultados desta análise.

Tabela 5. Razão entre as colunas onde se registaram as cargas máximas, nas auditorias finais

Razão	
Linha nº 2	0,67
Linha nº 3	1,00
Linha nº 4	0,60
Linha nº 5	0,17

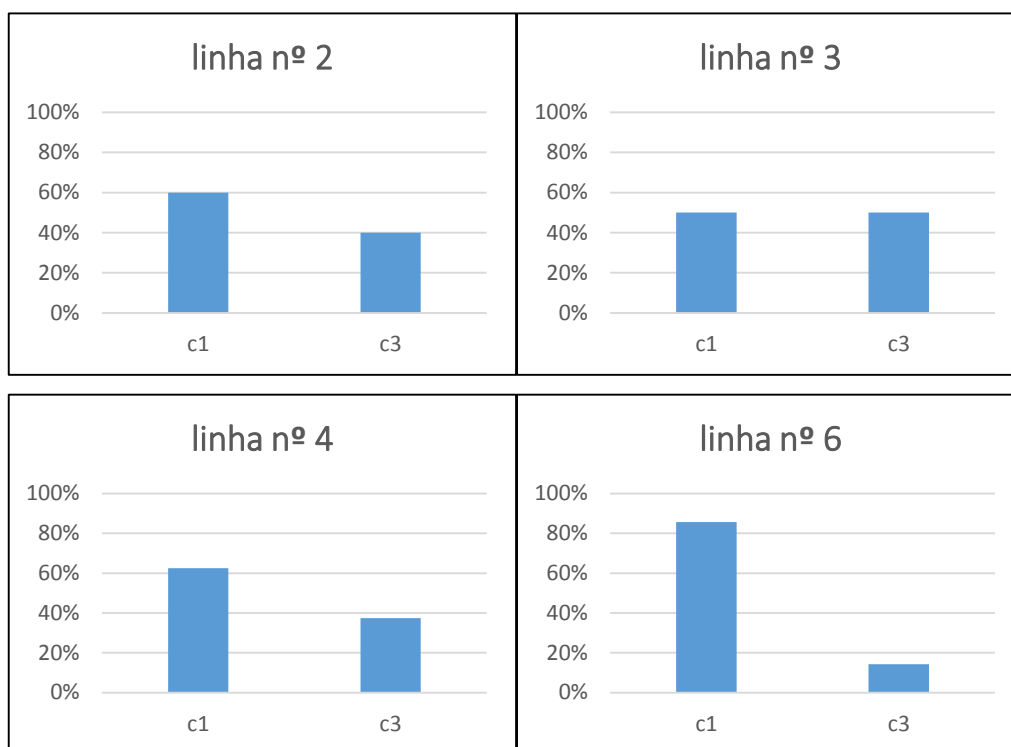


Figura 20. Colunas onde são observadas as cargas máximas, nas auditorias finais.

Em quase todas as linhas de produção, verificou-se uma redução do desnivelamento. Foi possível minimizar a tendência da aplicação de uma maior quantidade de verniz numa determinada zona. A exceção foi a linha nº 6 que continua a ter os máximos registados na coluna 1.

Através da análise dos indicadores estudados, é possível concluir que o fator humano é fundamental para a uniformização da espessura da camada de revestimentos, já que se observaram melhorias significativas na fase final do projeto.

4.1.6 Sistema de Acoplamento de Rolos de aplicação

Atualmente o acoplamento dos rolos de aplicação à máquina envernizadora é efetuado através de um veio. Este sistema traz instabilidade ao processo caso o veio esteja empenado ou o acoplamento esteja danificado.

Foi testado um protótipo em que os acoplamentos já estão fixos ao rolo de aplicação, sendo dispensável o veio. Para aplicar este protótipo na produção, é necessário um conjunto de engrenagens para cada rolo e uma alteração no sistema de armazenamento dos mesmos. Por estes motivos, o custo da implementação deste sistema é elevado, pelo que é necessário verificar-se uma melhoria substancial para que o investimento seja compensatório.

Ao testar este protótipo estuda-se a influência de dois fatores: o veio e o estado dos acoplamentos, já que os que estão incluídos no protótipo são novos.

Numa determinada ordem de produção, analisou-se o desvio padrão das cargas de revestimento referente a folhas envernizadas por um rolo normal. De seguida, alterou-se o rolo para o protótipo e procedeu-se novamente ao cálculo deste fator, deste modo são asseguradas iguais condições operacionais. Se o desvio padrão diminuir, verificar-se-á uma maior uniformização da camada de revestimento.

Foram efetuados ensaios nas linhas nº 3,4 e 6, encontrando-se na Tabela 6 os resultados obtidos.

Tabela 6. Desempenho do rolo protótipo.

Ensaio 1			Ensaio 2			Ensaio 3			
Linha 6 - Verniz E			Linha 6 - Verniz E			Linha 6 - Verniz E			
	Rolo 1	Protótipo	Diferença	Rolo 2	Protótipo	Diferença	Rolo 3	Protótipo	Diferença
Desvio padrão	0,33	0,33	0,00	0,38	0,30	-0,09	0,33	0,34	0,01
Colunas onde se regista cargas máximas									
coluna	c1	c1		c1	c1		c1	c1	
Ensaio 4			Ensaio 5			Ensaio 6			
Linha 4 - Verniz C			Linha 4 - Verniz E			Linha 4 - Verniz E			
	Rolo 1	Protótipo	Diferença	Rolo 4	Protótipo	Diferença	Rolo 5	Protótipo	Diferença
Desvio padrão	0,53	0,37	-0,15	0,63	0,55	-0,08	0,26	0,45	0,18
Colunas onde se regista cargas máximas									
coluna	c3	c3		c3	c3		c3	c3	
Ensaio 7									
Linha 3 - Verniz F									
	Rolo 6	Protótipo	Diferença						
Desvio padrão	0,20	0,26	0,05						
Colunas onde se regista cargas máximas									
coluna	c3	c3							

No ensaio 4, o desvio padrão obtido com o rolo convencional foi 0,53, enquanto com o protótipo foi 0,37. Este foi o ensaio onde se verificou uma diminuição mais acentuada do desvio padrão. Outro ensaio a destacar é o nº 6 que contrariamente ao esperado, registou uma maior não uniformidade.

As baixas diferenças obtidas nos restantes ensaios aliado ao facto das zonas da folha em que se registaram as cargas máximas serem as mesmas em ambos os rolos, permitem concluir que o protótipo ensaiado não é eficaz. O que demonstra que nem os veios, nem o atual estado dos acoplamentos dos rolos são a causa da não uniformidade da espessura da camada.

4.1.7 Modificação de acoplamento da máquina envernizadora

De forma a justificar a pouca oscilação do desvio padrão verificado na linha nº 3, analisaram-se as intervenções mecânicas a que esta linha foi sujeita. Os acoplamentos da máquina envernizadora ao rolo de aplicação foram substituídos há algum tempo. Esta alteração pode revelar-se fundamental, porque para além de poder diminuir a folga entre os dois acoplamentos, evita o desgaste precoce do veio. Ao investigar o histórico de manutenções das outras linhas de produção não foi encontrada nenhuma intervenção deste género.

Foi encomendado um conjunto de acoplamentos para serem aplicados numa outra linha, contudo não foi possível efetuar esta alteração numa outra linha de produção até à data de entrega da presente dissertação.

Por estes motivos, o estado do acoplamento da máquina envernizadora ao veio poderá ser um fator-chave para a uniformidade da espessura do revestimento.

4.1.8 Ângulo de contacto

Na literatura encontraram-se indícios que o aumento da temperatura de um dos componentes do sistema revestimento-superfície poderá levar a uma diminuição do ângulo de contacto. Deste modo, o espalhamento do revestimento é facilitado, o que aumenta a uniformização da camada na folha-de-flandres.

Foram estudados os ângulos de contacto formados entre uma gota do verniz B e várias superfícies a diferentes temperaturas. As superfícies estudadas foram: folha-de-flandres não processada, folha revestida com o esmalte A, folha revestida com o primário H e folha revestida com dois conjuntos de tintas (Tintas_1 e Tintas_2). A temperatura do verniz utilizado variou entre 19 °C e 21 °C.

Na literatura encontraram-se várias experiências laboratoriais em que com o aumento gradual da temperatura do líquido, as várias superfícies tiveram comportamentos distintos [27], o que dificulta a previsão dos resultados.

Para tornar mais acessível esta análise, na Tabela 6 encontra-se a diferença no ângulo de contacto das várias temperaturas em relação ao medido para a 30 °C. Os valores obtidos para todos os ângulos de contacto encontram-se no Anexo 3.

Tabela 7. Evolução do ângulo de contacto com a temperatura.

Revestimento	30 °C	45 °C	60 °C
	Ângulo de contacto (°)	Diferença relativa (%)	
Tintas_1	31,31 +/- 0,07	-1,1	-3,5
Tintas_2	38,22 +/- 0,27	-23,3	-19,9
Folha Virgem	29,97 +/- 0,07	-3,7	-1,4
A	44,12 +/- 0,09	-1,0	-7,3
D	41,53 +/- 0,09	0,6	-4,3
E	37,18 +/- 0,24	-8,9	-11,6

Na superfície revestida com o sistema Tintas_2, observou-se uma diminuição significativa do ângulo de contacto, contudo esta não foi proporcional ao aumento da temperatura. As superfícies revestidas com o esmalte A, H e Tintas_1 apresentaram uma diminuição do ângulo de contacto, contudo as diferenças não foram significativas.

Os resultados apresentaram a aleatoriedade observada na literatura, não sendo possível concluir que o aumento de temperatura das folhas contribui para a diminuição do ângulo de contacto.

4.1.9 Pressão ao longo da folha-de-flandres

Foi utilizado o *Prescale Measurement Film* desenvolvido pela *Fugifilm* que tem a capacidade de ilustrar o perfil de pressões ao longo de uma superfície. Foram testadas várias amostras desta película com gamas de pressão diferentes. Nos testes preliminares a gama com os resultados mais prometedores foi a LLW (0,2 MPa a 0,6 MPa), contudo após a sua utilização em várias ordens de produção, os resultados não se revelaram satisfatórios. Não se verificou uma mudança de cor acentuada, o que demonstra que a sensibilidade da película não é a indicada para o sistema em estudo. Como esta é a gama de pressão mais baixa disponível, não foi possível obter o perfil de pressão ao longo da folha-de-flandres. No Anexo 4 encontra-se o resultado de alguns dos testes realizados.

4.2 Controlo de consumo de revestimentos

Ao longo do estudo da uniformização da camada aplicada de vernizes/esmaltes, verificaram-se diferenças substanciais entre a carga aplicada e os intervalos especificados.

4.2.1 Desvio de consumo

Cada revestimento tem definido um intervalo de carga, que garante que a folha revestida tem as propriedades pretendidas. A aplicação de verniz em excesso aumenta os custos do processo,

enquanto uma carga inferior à aconselhada pode alterar substancialmente as propriedades do produto final. A estas alterações poderão estar associados custos de não-qualidade.

O desvio de consumo é calculado através da equação 4.2, em que a carga prevista é a média aritmética dos limites especificados.

$$\text{Desvio de consumo (\%)} = \frac{\text{Carga registada} - \text{Carga prevista}}{\text{Carga prevista}} \times 100 \quad (4.2)$$

$$\text{Carga prevista} = \frac{\text{LSI} - \text{LII}}{2} \quad (4.3)$$

Quando o desvio do consumo é positivo, verifica-se um excesso de aplicação de verniz. Caso seja negativo, considera-se que há um défice na quantidade de verniz aplicado.

Em alguns vernizes/esmaltes, a gama recomendada é muito ampla, por isso há registo de cargas dentro dos limites especificados, mas com um desvio de consumo substancial. Na Tabela 8 encontra-se a quantidade de auditorias em que se verificaram desvios diferentes do especificado, assim com a média dos desvios de consumo cada revestimento e os respetivos limites.

Tabela 8. Desvios de consumo verificados nas auditorias iniciais.

Verniz/esmalte	Dados fora de especificação (%)	Desvio do consumo (%)		
		Média	Limite Máximo	Limite Mínimo
A	91	0,3	5	-5
B	77	22,5	9	-9
C	14	11,8	20	-20
D	70	-6,5	7	-7
E	80	23,8	17	-17
F	50	35,5	24	-24
G	83	23,5	20	-20
H	100	92,4	20	-20

Apesar de em grande parte das auditorias referentes aos esmaltes A e D se encontrarem consumos fora do especificado, os seus desvios médios são baixos, o que significa que as cargas registadas encontram-se perto dos limites impostos.

O desvio do verniz H é o mais elevado e em nenhuma auditoria foi registado um consumo dentro dos limites de especificação. O verniz B é um dos mais consumidos na fábrica, e apresenta grandes excessos relativamente ao consumo esperado. Apesar de em 70 % das auditorias referentes ao verniz D não se verificar a carga adequada, este apresenta um consumo aceitável. Estes resultados estão ilustrados no Anexo 5.

São grandes os desvios de consumo dos revestimentos, sendo necessário encontrar a sua origem de forma a reduzi-los.

4.2.2 Desvio de consumo vs viscosidade

A quantidade de revestimento que é aplicado na folha-de-flandres é controlada por um manípulo. Este contém várias marcas que representam a percentagem de abertura dos rolos.

Para cada revestimento os operadores estabeleceram, com base na sua experiência profissional, a marca correspondente do manípulo que lhes garante a aplicação de revestimento na quantidade prevista, caso se verifiquem as condições operacionais definidas. Contudo o aumento da viscosidade leva a uma maior quantidade de revestimento aplicado, para a mesma abertura. É necessário perceber se ao aumento da viscosidade corresponde um aumento de consumo.

Utilizou-se novamente o teste de Kendall para estudar relação entre estes dois fatores. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Estudo da correlação entre o desvio da viscosidade e o desvio de consumo.

Verniz/esmalte	A	B	C	D	E	F	G	H
τb	0,17	0,08	0,50	0,18	0,39	0,51	-0,29	0,52
Pvalue	0,49	0,78	0,24	0,53	0,15	0,12	0,56	0,03

Os coeficientes de Kendall são relativamente baixos sendo que a análise aos consumos dos vernizes C, F e H mostraram uma possível correlação entre os dois fatores.

Contudo só no verniz H é possível rejeitar a hipótese nula do teste de hipóteses, pelo que estatisticamente há provas que suportam a correlação neste revestimento. Contudo, esta conclusão não deve ser generalizada, dado que só se verificou num dos revestimentos.

A viscosidade é um fator importante a controlar, não sendo a principal causa dos desvios observados. As Figuras correspondentes aos dados recolhidos encontram-se no Anexo 5.

4.2.3 Fator Humano

Nem sempre os procedimentos de controlo de carga são cumpridos, uma vez que os operadores consideram que a marca do manípulo da abertura dos rolos garante a carga pretendida. Assim, avaliam a carga de verniz pelo aspeto da folha.

Na aplicação dos esmaltes brancos (A e D) é possível ver o quão branca está a folha-de-flandres revestida. Daí as cargas se encontrarem próximas do pretendido. Nos outros vernizes, não há tanta sensibilidade colorimétrica, o que justifica a tendência de se aplicar revestimento em excesso.

O controlo da carga ao longo da produção não era constante, em grande parte devido à complexidade do sistema de medição de carga anteriormente utilizado (diferenças de pesagem). De forma a fomentar o controlo das cargas, o equipamento utilizado no novo método de medição, *Sencon Coatings Thickness Gauge*, foi conectado à plataforma informática de gestão da fábrica. Assim, é possível aferir se os operadores vão controlando a carga e se esta se encontra dentro dos parâmetros. O processo de adaptação aos novos métodos de trabalho é difícil e demorado pois é necessário investir tempo na formação e consciencialização dos colaboradores acerca dos benefícios inerentes. É espectável que a curto prazo não se verifiquem melhorias significativas no controlo de consumos.

4.2.4 Balanço de consumos

Os custos associados ao consumo dos vernizes/esmaltes representam uma grande parte do orçamento no setor litográfico. Na fábrica onde foi desenvolvida a dissertação, estes custos ascendem aos milhões de euros, pelo que é importante consumir a quantidade de revestimentos prevista de forma a não existir desvios ao orçamento definido.

Foram analisadas as quantidades de revestimentos consumidos nas ordens de produção referentes às auditorias iniciais. O balanço resultou num excesso de 9,2 %, em peso, do consumo total. Este é um balanço global, contemplando revestimentos cujo consumo é maior e menor que o previsto.

Calculou-se o preço referente ao excesso de revestimentos aplicados. Este representa cerca de 12 % do custo total dos revestimentos consumidos. Se esta tendência se extrapolar para os consumos anuais, é possível evitar que a empresa gaste centenas de milhares de euros na aquisição de revestimentos.

4.2.5 Índice de capacidade do processo de, C_{pk}

Este índice depende do desvio padrão e do consumo. Como estes dois fatores estão fora de especificação, é esperado que o C_{pk} do processo esteja mais baixo que o desejado.

Na Figura 21, encontra-se o índice de capacidade resultante das auditorias efetuadas. A vermelho está representado o valor mínimo a partir do qual o processo se considera controlado.

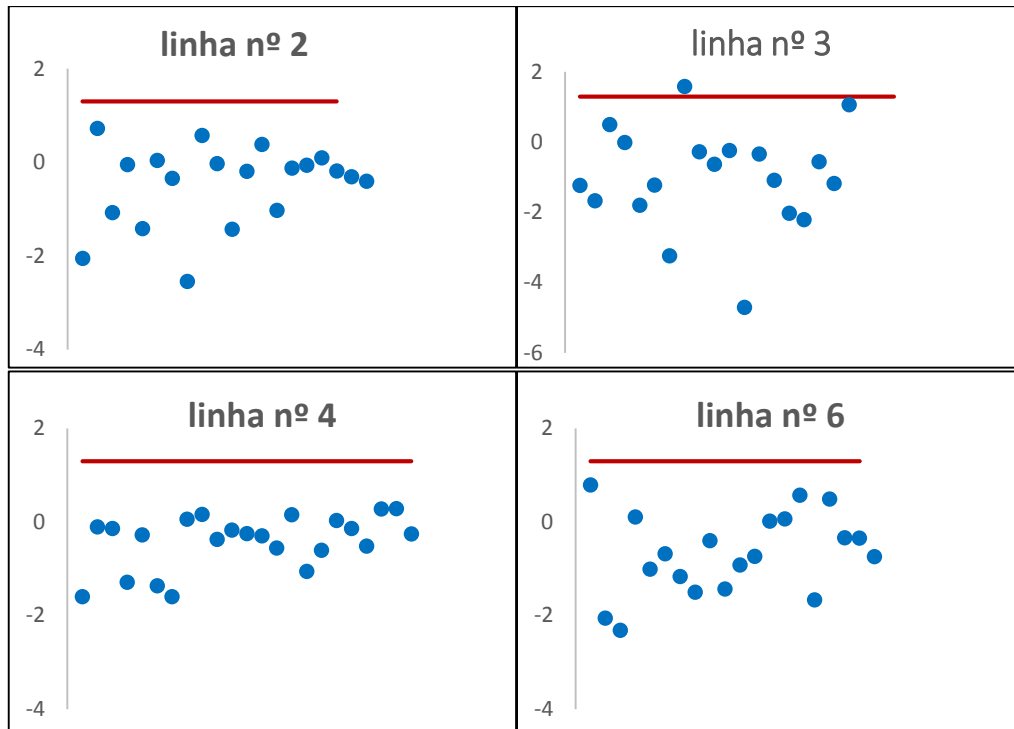


Figura 21. Índice de controlo da capacidade do processo, C_{pk} , registado nas auditorias iniciais.

A única auditoria na qual o C_{pk} do processo foi suficientemente alto para considerar o processo controlado foi verificada na linha nº 3. Analisaram-se os dados relativos a esta medição e verificou-se que a viscosidade estava dentro do intervalo recomendado, o rolo de aplicação tinha sido retificado pouco antes da sua utilização e o operador tinha controlado a carga de verniz ao longo da produção.

Como os limites de especificação são, em alguns casos, muito alargados, o desvio padrão teria que ser muito baixo de forma a compensar a diferença entre as cargas registadas e os respetivos limites. No processo estudado, dificilmente se obterá desvios padrão tão baixos, pelo que não é espectável índices de capacidade tão próximos do valor alvo. Para melhorar este coeficiente será necessário reduzir os limites de especificação.

4.2.6 Auditoria no final de Projeto – Controlo de consumos

No final do projeto, observou-se um maior rigor, por parte dos operadores, no cumprimento das metodologias de trabalho definidas. Nas auditorias finais estudou-se se a este crescente rigor corresponde um maior controlo de consumos.

Na Tabela 10 encontram-se os resultados destas auditorias, a nível de desvio de consumos.

Tabela 10. Desvios de consumos verificados nas auditorias finais.

Verniz/esmalte	Dados fora de especificação (%)	Desvio ao consumo teórico (%)		
		Média	Limite Máximo	Limite Mínimo
A	75,0	-1,4	5	-5
B	20,0	-1,9	9	-9
E	66,7	16,5	17	-17
Q	33,3	-4,9	24	-24
K	0,0	-2,6	20	-20

O verniz A continua com a mesma dinâmica verificada nas auditorias iniciais, bastantes dados fora de especificação mas desvio médio próximo de zero. Nos restantes, é evidente a diminuição de dados fora de especificação, sendo que no verniz K todos os consumos registados encontravam-se dentro do especificado.

As médias dos desvios registados estão mais próximas de zero o que significa que os consumos estão mais controlados. O constante acompanhamento da carga aplicada e a mudança do método de medição da mesma revelaram-se fulcrais no controlo de consumos. Caso se mantenha esta tendência, os custos referentes à aquisição dos revestimentos começarão a diminuir.

5 Conclusões

Verificou-se uma diferença na espessura do revestimento aplicado ao longo das folhas-de-flandres produzidas pela Colep. Estas diferenças podem prejudicar a qualidade do produto final e aumentar os custos de processo. Também foram detetadas disparidades entre as espessuras medidas e as especificadas. Esta tese investigou os consumos de revestimentos e a uniformidade da camada aplicada de vernizes e esmaltes.

Através do teste de Kendall, verificou-se que a viscosidade dos produtos de revestimento têm pouca influência sobre a uniformização da espessura da camada aplicada, bem como sobre o consumo destes produtos. Apesar de haver alguns índices apresentarem possíveis correlações, nos respetivos testes de hipóteses não foi possível rejeitar a hipótese nula. Contudo deverá existir um maior controlo sobre a viscosidade de forma a garantir que esta está sempre dentro dos limites recomendados pelo fornecedor.

Embora o aumento da temperatura das superfícies a serem revestidas auxilie o espalhamento do verniz em estudo, origina-as diminuições no ângulo de contacto não foram significativas, pelo que não compensa a introdução de um sistema de aquecimento nas linhas de produção.

O teste de um novo rolo com um sistema de acoplamento diferente não se revelou eficaz, o que demonstra que o sistema em uso não é a origem da não uniformidade observada. Por outro lado, a renovação dos acoplamentos da máquina envernizadora da linha nº3, pode justificar a maior uniformidade observada nesta linha. Até à data da entrega da dissertação não foi possível efetuar esta manutenção numa outra linha de produção. Contudo este deverá ser um fator decisivo para o aumento da uniformidade da camada de vernizes e esmaltes aplicados.

Foram analisados os consumos de vários revestimentos. O verniz de acabamento B e o verniz primário H são os que apresentam maiores desvios e, em ambos os casos, por excesso. A aplicação do verniz primário E originou espessuras mais uniformes de aplicação de maior qualidade. O excesso de revestimento aplicado nas auditorias iniciais representou 12 % do custo total referente ao consumo de revestimentos.

A introdução do *Sencon Coatings Thickness Gauge* como método de medição da espessura e o maior rigor no cumprimento dos procedimentos de trabalho estipulados foram os fatores que mais influenciaram a melhoria do controlo processual verificado nas auditorias finais.

Foram encontradas as origens da não uniformidade da camada de revestimentos aplicada e dos desvios de consumo, o que permitiu desenvolver metodologias que minimizam as diferenças verificadas. Desta forma, pode-se concluir que o projeto foi concluído com sucesso.

5.1 Outros trabalhos realizados

O fenómeno enresmar (*blocking*) caracteriza-se pela colagem de várias folhas após o processo de envernizamento, causando constrangimentos na alimentação das folhas revestidas nos processos a jusante.

Para estudar os fatores que propiciam este fenómeno mediu-se a aderência de folhas revestidas com vários vernizes/esmaltes. Aplicou-se uma fita-cola sob as várias superfícies e, através de um dinamómetro registou-se a força máxima necessária para descolar a fita-cola. Este teste é uma variante do Loop test [28]. A instalação utilizada encontra-se na Figura 22.



Figura 22. Instalação utilizada para medição de aderência.

A instalação é constituída por um dinamómetro que está acoplado a um motor. Este faz com que o dinamómetro suba sempre à mesma velocidade. O dinamómetro regista a força máxima aplicada durante o ensaio.

A fita-cola utilizada foi a de referência *C/66X15MM TESA*, e a área colada na superfície revestida era $22,5 \text{ cm}^2$ ($1,5 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$), no momento da colagem foi aplicado um peso de 54 g durante 3 segundos. Para cada amostra de substrato foram efetuados 5 ensaios e foram considerados os primeiros 3 com resultados concordantes.

Foram analisadas amostras de folhas com diferentes revestimentos e mediu-se a respetiva aderência, desta forma, é possível perceber quais os revestimentos que são mais propícios a enresmar.

Na Tabela 11 encontra-se a força necessária para retirar a fita-cola de várias superfícies.

Tabela 11. Força necessária para retirar fita-cola de uma superfície revestida.

Tipo revestimento	Família química da Resina	Referência	Força (N)
Esmalte	Acrílico	D	3,48
Esmalte	Poliéster	I	3,36
Verniz Primário	Epóxi	J	3,00
Verniz Ouro	Epóxi Fenólico	K	2,81
Verniz Acabamento	Poliéster	B	2,80
Verniz Acabamento	Acrílico	F	2,57
Verniz Ouro	Epóxi Fenólico	L	2,69
Verniz Esmalte	Acrílico	A	2,59
Verniz Pigmentado	Epóxi	M	2,51
Verniz Acabamento	Éster de Epóxi	E	2,42
Verniz Ouro	Epóxi Fenólico	N	2,37
Verniz Acabamento	Poliéster	O	2,29
Verniz Ouro	Epóxi Fenólico	P	2,29
Verniz Ouro	Epóxi Fenólico	G	2,28

Não há qualquer ligação visível, entre o tipo de revestimento ou família química da resina e a respectiva aderência, pelo que a análise deve ser feita a cada revestimento.

A velocidade de funcionamento da máquina envernizadora influencia diretamente o tempo que o verniz está dentro do forno e, por consequência, a cura do mesmo.

Foi efetuado o teste de aderência em folhas-de-flandres cujos revestimentos tinham o processo de cura incompleto (amostras retiradas na primeira porta do forno). Assim é possível perceber a influência da cura do revestimento na aderência do sistema. Na Tabela 12 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 12. Força necessária para retirar a fita-cola de uma superfície cujos revestimentos estão mal curados.

Revestimento	Cura completa Força (N)	Cura incompleta Força (N)	Diferença relativa (%)
D	3,37	3,10	-8
J	3,20	2,91	-9
C	2,80	3,19	14
P	2,29	3,03	32
M	2,69	3,32	23
G	2,28	3,01	32
N	2,51	2,54	1

Em várias amostras a aderência aumentou significativamente, foi o caso das folhas revestidas com os vernizes C,P,M,G, contudo este aumento não foi significativo no verniz N. Nos esmaltes D e J registou-se uma pequena diminuição. Estes servem de base de aplicação das tintas pelo que quando completamente curados têm maior poder adesivo.

Foram realizadas várias auditorias em dois momentos distintos, no lançamento e na etapa final do projeto. No início do projeto não estava especificado para todas as linhas de produção a velocidade máxima de funcionamento para cada revestimento. Nesta fase verificou-se que em 42 % das auditorias realizadas, a velocidade estava demasiado alta face às velocidades entretanto estipuladas, foi considerado uma tolerância de 100 folhas por minuto. Nas auditorias realizadas na etapa final do projeto este valor desceu para 19 %.

É necessário considerar a espessura da folha-de-flandres no estudo deste fenómeno porque quanto mais espessa a folha maior o seu peso logo maior a pressão aplicada nas folhas constituintes do balote. Para comprovar a relação entre a aderência do sistema e o peso do balote, efetuou-se um ensaio onde a algumas amostras é aplicado um peso superior (932 g) que o utilizado até então (58 g) à fita-cola no momento da colagem. Foram realizados ensaios em que a superfície revestida estava a temperaturas distintas. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 13.

Tabela 13. Evolução da aderência com o aumento de peso na aplicação da fita-cola.

Temperatura (°C)	Força (N)		Diferença relativa (%)	Referência do verniz
	58 g	937 g		
20,0	2,58	2,41	-6,6	B
	2,14	2,00	-6,4	E
	2,17	2,14	-1,5	G
	1,80	2,60	44,3	N
39,0	2,16	2,07	-4,0	B
	1,39	1,70	22,5	E
	1,90	1,81	-4,8	G
	1,65	1,61	-2,4	N

Ao contrário do espectável, na maior parte dos sistemas não se verificou o aumento da aderência, as exceções foram o verniz N a 20 °C e o verniz E a 39 °C. Os outros sistemas apresentaram reduções na força necessária para descolar a fita, apesar de pequenas demais para serem consideradas.

Ao prolongamento do tempo em que a pressão está a ser exercida, deverá corresponder um aumento da aderência. Realizou-se um ensaio onde o peso (937 g) foi deixado em cima da fita-cola durante 20 minutos e comparou-se a aderência com a obtida na aplicação instantânea. Na Tabela 14 encontram-se os resultados obtidos.

Tabela 14. Variação da aderência com aumento do tempo de aplicação de pressão

Temperatura (°C)	Força (N)		Diferença relativa (%)	Referência do verniz
	3 segundos	20 minutos		
20,0	2,41	3,53	46,6	B
	2,41	3,05	26,5	E
	2,14	3,87	81,2	G
	2,60	3,25	25,0	N
39,0	2,07	2,73	31,7	B
	2,07	2,90	39,7	E
	1,81	2,97	64,2	G
	1,61	2,46	53,0	N

Em todas as amostras a aderência aumentou significativamente. Sendo o verniz G que, para ambas as temperaturas, registou a maior variação. O tempo de armazenamento é um fator importante na prevenção do fenómeno enresmar.

Não se garante que a fita-cola utilizada representa o sistema revestimento-folha, pelo que se deve realizar os mesmos ensaios, com diferentes colas, de forma a validar os resultados obtidos.

5.2 Limitações e Trabalho Futuro

Não foi possível certificar a influência dos acoplamentos das máquinas envernizadoras, Contudo esta alteração é parte integrante de uma operação de manutenção à linha nº 4, já programada.

Como trabalho futuro é aconselhada a continuação das análises desenvolvidas ao longo da dissertação, como procedimento de controlo da uniformidade da camada de verniz aplicada.

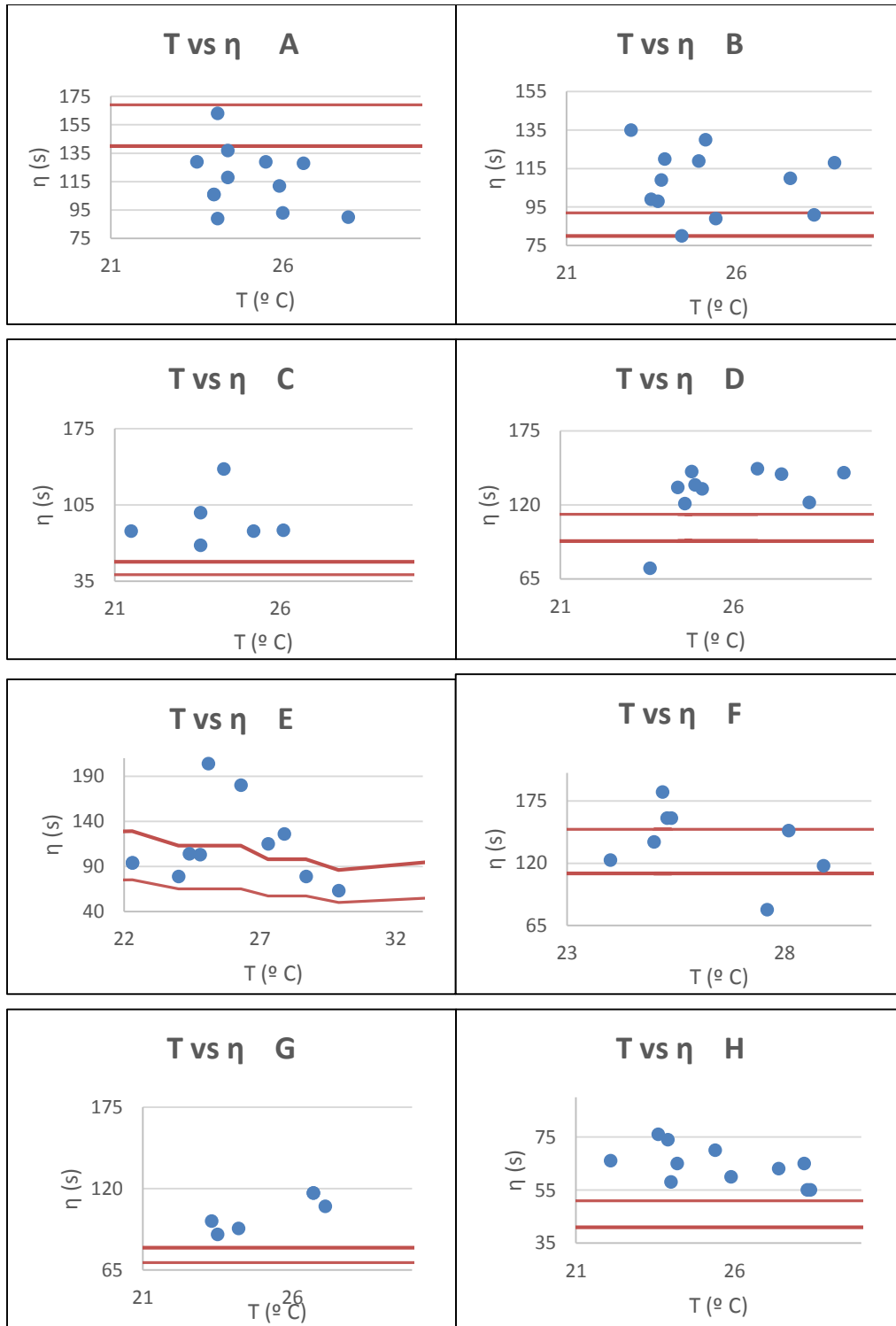
Devido à limitação de tempo não foi possível estudar a aderência das superfícies em estudo, com diferentes colas. Além deste estudo, também se deverá analisar a influência da temperatura e humidade das superfícies na aderência das mesmas. Desta forma, será possível encontrar a origem para o fenómeno de enresmar.

6 Bibliografia

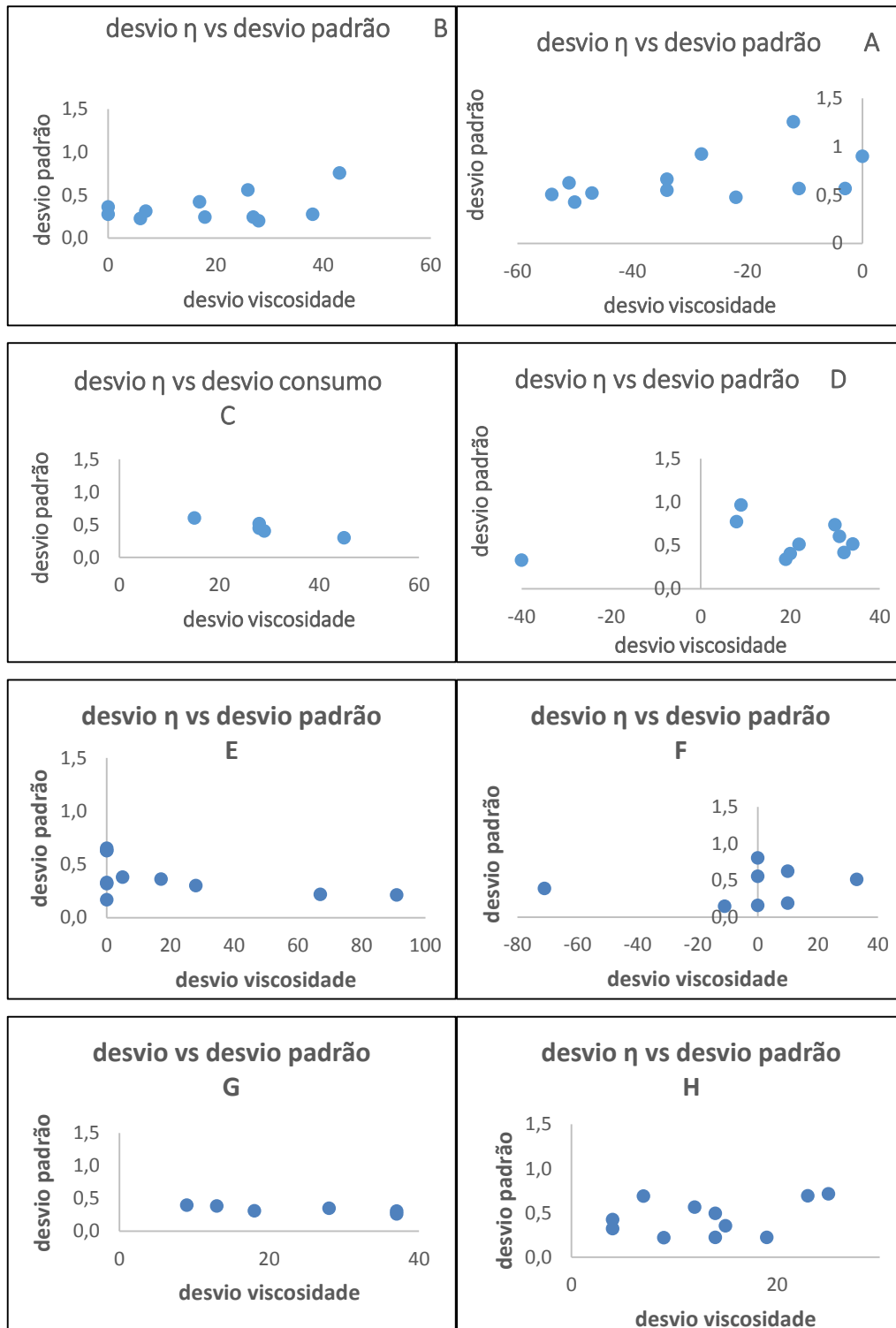
- [1] G. L. Robertson, Food packaging: Principles and Practise, 3ª edição ed., CRC Press.
- [2] Metal Packaging Europe. Acedida a 22 Novembro 2014. <http://www.metalpackagingeurope.org>
- [3] Empac, *Empac brochure: Precious Indutry*, 2012.
- [4] Colep, *Introduction to Coating Process*, 2014.
- [5] KBA Metal-print, Tinplate and Container Decorating Machinery, 2008.
- [6] R. v. Duin, *What are can coatings and how are they used ? - Training Program, Vale de Cambra*, 2013.
- [7] Colep, Packaging Division, *Introduction to Coating Process*, 2014.
- [8] AkzoNovel, *Curso de formación sobre barnices para la industria del embalage metálico*, 2012.
- [9] Colep/DFM, Manual de Litografia, Vale de Cambra.
- [10] PPG Packaging Coatings, *Formación de barnices metalgráficos*, Vale de Cambra, 2014.
- [11] Colep. Acedida em 24 Novembro 2014. <http://www.colep.com>.
- [12] ECCA. Acedido a 1 de Dezembro 2014. <http://www.prepaintedmetal.eu>
- [13] H.-J. S. Artur Goldschmidt, BASF Handbook on Basicsof Coating Technology, Münster/Germany, Vincentz Network, 2007.
- [14] A. A. Tracton, Coatings Technology Handbook, 3ª edição ed., CRC, 2006.
- [15] Innosen, *Innosen Coating Thickness Measurement Bedt Practise v1*.
- [16] P. D. W. B. Sen-ben Liao, *Physics 8.02 Electricity and Magnetism MIT Notes*, 2014.
- [17] Y. Dodge, The Oxford Ditionary of Statistical Terms, Oxford University Press, 2003.
- [18] C. A. Jacobs, Operation & Suply Management, 12ª Edição ed., McGraw-Hill International Edition.
- [19] D. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control., Jonh & Sons , 2004.

- [20] Departamento de Engenharia, Colep, Atual - Fixação do cilindro da envernizadora "Mailander 460", 2014.
- [21] C. Departameno de Engenharia, Proposta 1(KBA) para alteração da fixação do cilindro da envernizadora "Mailander 460",2014.
- [22] A. W. N. D Y Know, Contact angle meausrement and contact angle iterpretation, 2000.
- [23] E. O. O. R. H. G. Derrick O. NJOBUENWU, "Determination of Contact Angle from Contact Area of Liquid Droplet Spreading on Solid Substrate," 2007.
- [24] H. B. Bracco G., Surface Sciences Techniques, Springer, 2013.
- [25] Fugifilm. Acedido a 16 de Dezembro 2014.
<http://www.fugifilm.com/products/prescale/prescalefilm>.
- [26] M. Kendall, " "A New Measure of Rank Correlation", " *Biometrika*, 1938.
- [27] K. L. O. III, *Temperature-Dependence of the Contact Angle of Water on Graphite, Silicon, and Gold*, 2009.
- [28] L. L. B C Duncan, An intercomparison of Tack Measurement, 1999.

Anexo 1 Controlo da viscosidade (η)



Anexo 2 Desvio de viscosidade vs desvio padrão

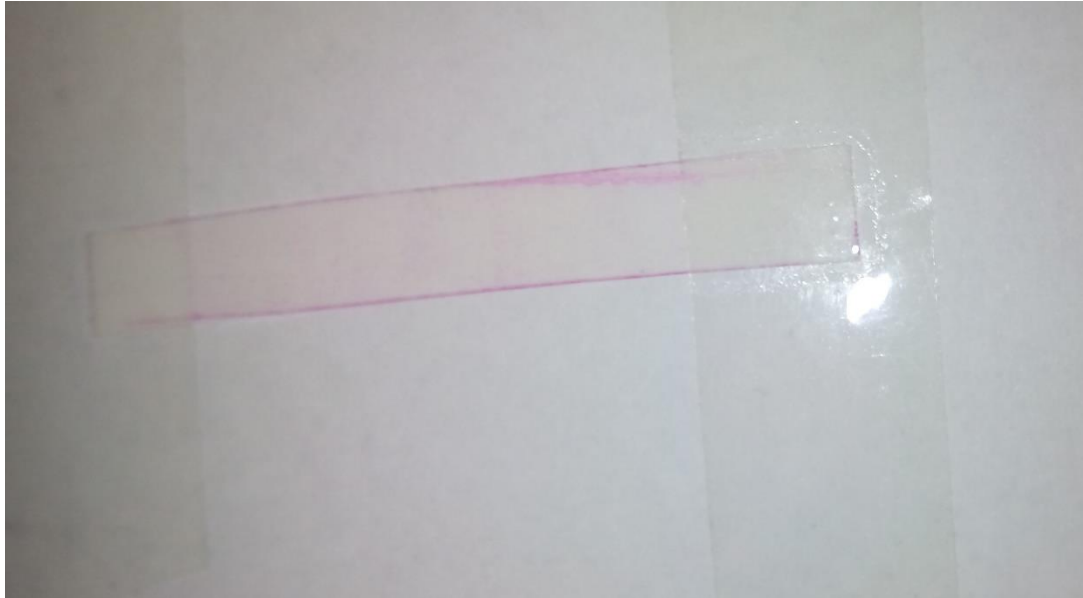


Anexo 3 Ângulos de Contacto

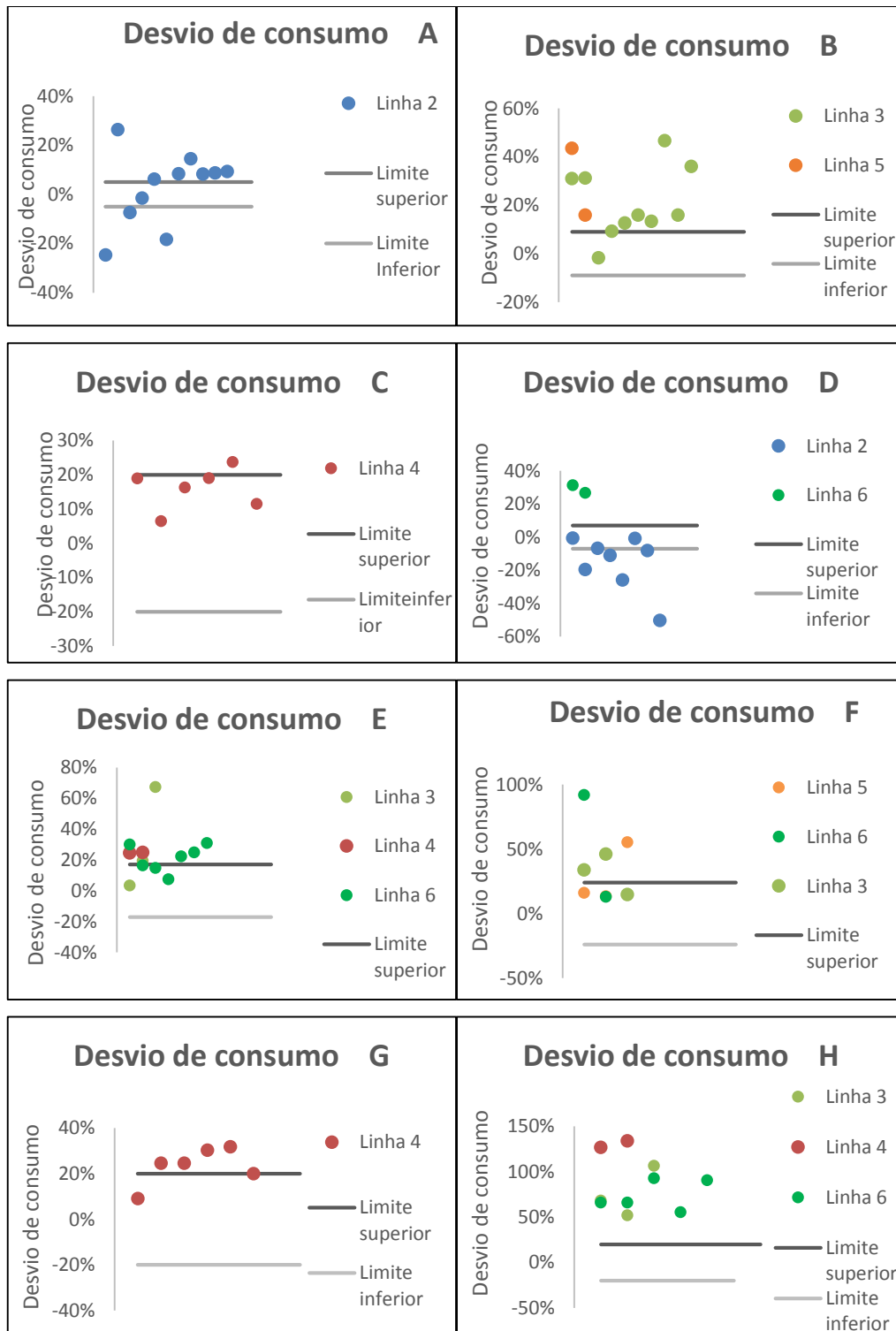
	30° C	45 ° C	60 ° C
Ângulo de contacto (°)			
Tintas_1	31,31 +/- 0,07	30,96 +/- 0,06	30,2 +/- 0,07
Tintas_2	38,22 +/- 0,27	29,33 +/- 0,09	30,62 +/- 0,10
Folha Virgem	29,97 +/- 0,07	28,86 +/- 0,12	29,56 +/- 0,9
A	44,12 +/- 0,09	43,66 +/- 0,07	40,91 +/- 0,2
D	41,53 +/- 0,09	41,79 +/- 0,15	39,73 +/- 0,07
H	37,18 +/- 0,24	33,86 +/- 0,2	32,87 +/- 0,18

Anexo 4 Resultado da utilização do Prescale Film

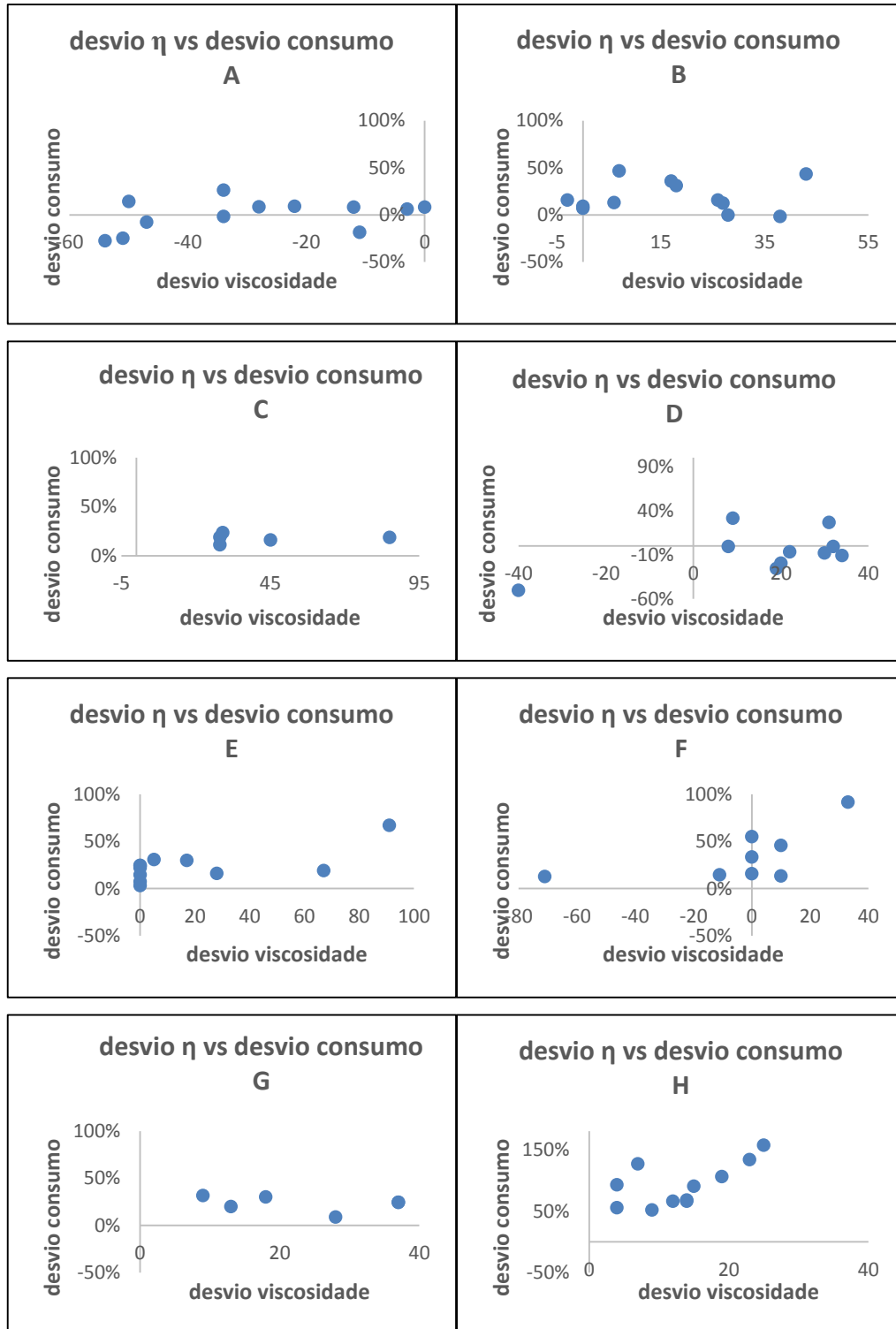
Zona relativa ao ponto 1 da folha-de-flandres



Anexo 5 Desvio do Consumo



Anexo 6 Desvio viscosidade (η) vs Desvio do Consumo



Anexo 7 Aderência em vários revestimentos

Revestimento	Força (N)	Média	Revestimento	Força (N)	Média
A	2,56	2,59	B	2,76	2,80
	2,62			2,71	
	2,59			2,94	
D	3,35	3,37	E	2,48	2,42
	3,33			2,39	
	3,42			2,38	
F	2,50	2,57	G	2,24	2,28
	2,61			2,22	
	2,59			2,37	
I	3,15	3,20	J	3,00	3,00
	3,16			3,11	
	3,30			2,88	
K	2,83	2,81	L	2,65	2,69
	2,70			2,71	
	2,88			2,70	
M	2,52	2,51	O	2,31	2,29
	2,42			2,31	
	2,60			2,25	
P	2,34	2,29			
	2,28				
	2,24				

Anexo 8 Aderência revestimentos com cura incompleta

Revestimento	Força (N)	Média
C	3,18	3,19
	3,14	
	3,24	
D	2,81	2,79
	2,77	
	2,78	
G	2,97	3,01
	3,08	
	2,97	
J	2,91	2,87
	2,79	
	2,89	
M	2,57	2,54
	2,55	
	2,51	
N	2,47	2,43
	2,39	
	2,43	
P	2,35	2,30
	2,24	
	2,29	

Anexo 9 Aderência com um peso de aplicação de 932 kg

Temperatura	Revestimento	Força (N)	Média
20 °C	B	2,44	2,41
		2,43	
		2,36	
	E	2,09	2,00
		1,91	
		2,01	
	G	2,24	2,14
		2,09	
		2,08	
	N	2,57	2,60
		2,68	
		2,54	
39 °C	B	2,10	2,07
		2,02	
		2,10	
	E	1,74	1,70
		1,70	
		1,67	
	G	1,79	1,81
		1,76	
		1,87	
	N	1,67	1,61
		1,62	
		1,55	

Anexo 10 Aderência com um tempo de aplicação de peso de 20 minutos

Temperatura	Revestimento	Força (N)	Média
20 °C	B	3,44	3,53
		3,59	
		3,57	
	E	3,05	3,05
		2,97	
		3,12	
	G	3,77	3,87
		3,96	
		3,88	
	N	3,16	3,25
		3,33	
		3,26	
39 °C	B	2,72	2,73
		2,71	
		2,75	
	E	2,88	2,90
		2,96	
		2,84	
	G	2,97	2,97
		2,92	
		3,02	
	N	2,58	2,46
		2,39	
		2,42	