



Telescopia de Filmes Poliméricos

DANIELA NETO SALDANHA MARTINS

Outubro de 2018

Telescopia de Filmes Poliméricos

Daniela Neto Saldanha Martins

outubro de 2018

A large, light gray decorative graphic consisting of three concentric circles and a central arrow pointing to the right, positioned behind the orientation text.

Orientação: Prof. Paulo Silva / Dr^a Maria João Gonçalves

Agradecimentos

Agradeço a todos aqueles que de forma direta, ou indireta, tornaram possível a realização deste estágio curricular.

Ao Engenheiro Alfredo Crispim por todos os esclarecimentos e disponibilidade.

Ao Professor Paulo Silva pela sua orientação, conselhos e disponibilidade em me receber.

A toda a equipa da Pentaplast, S.A. que me recebeu com extrema simpatia e sempre se mostrou disponível a ajudar-me.

Um especial obrigado à Doutora Maria João Gonçalves por todos os conhecimentos e esclarecimentos prestados e aos meus colegas do Departamento de Qualidade e Tecnologia por toda a aprendizagem, ajuda e acompanhamento ao longo de todo este estágio.

Por último, mas não menos importante, um muito obrigado aos meus pais e amigos pelo apoio e motivação que sempre me proporcionaram.

Resumo

Para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química foi realizado o estágio curricular na empresa Pentaplast, S.A., no Departamento de Qualidade e Tecnologia e que teve como objetivo minimizar a ocorrência de telescopia no cliente.

Numa primeira fase houve o acompanhamento do processo produtivo tendo-se especial atenção à etapa final de enrolamento do filme em forma de bobines. Seguiu-se também a medição da tensão de bobinado, etapa de controlo de qualidade fundamental após a finalização das bobines. Simultaneamente, prestou-se apoio ao Laboratório de Qualidade e Tecnologia da empresa em questão.

Foram estudadas duas bobines devolvidas por um cliente da Pentaplast, S.A. devido à ocorrência de telescopia das mesmas. Foi medida a tensão de bobinado imediatamente antes e depois da zona telescopiada e retiradas amostras do material para medição de espessura. Tanto os valores da média de tensão de bobinado como os valores de espessura encontravam-se dentro dos limites admitidos, sendo que se conclui que a ocorrência de telescopia naquelas bobines não foi devida a esses dois fatores.

Foram também analisadas as reclamações de telescopia no período de janeiro a maio de 2018 e observados os três clientes com maior número de reclamações – Cliente 1, Cliente 2 e Cliente 3. Estudaram-se os materiais com maior número de reclamações e verificou-se que foram os materiais A e B, concluindo-se que estes devem ser seguidos com especial atenção durante o seu processo de fabrico e durante o seu processo de bobinagem. Analisou-se o efeito da espessura e largura das bobines por material e por cliente, concluindo-se que, relativamente ao material A, a espessura–largura 0,240–420 mm foi a mais reclamada (33 %) enquanto que no material B foi a espessura–largura 0,250–422 mm (60 %), verificando-se que espessuras menores levam a uma maior ocorrência de telescopia.

Palavras-chave: Polímeros, Politereftalato de etileno, Polietileno, Extrusão, Telescopia.

Abstract

To obtain master's degree in Chemical Engineering, an internship was carried out at the company Pentaplast, S.A., in the Department of Quality and Technology and the objective was to minimize the problem of the telescoping.

In a first phase, the production process was monitored, paying special attention to the final winding step of the film in the form of reels. The measurement of the winding tension, fundamental quality control step after the end of the reels, was also followed. Simultaneously, support was provided to the Quality and Technology Laboratory of the company in question.

Two reels returned by a client of Pentaplast, S.A., were studied due to the telescoping. The winding tension was measured just before and after the telescoped zone and samples were taken from the material for thickness measurement. Both the values of the mean winding tension and the values of thickness were within the limits allowed, and it is concluded that the occurrence of telescoping in those reels was not due to these two factors.

Telescoping complaints were also analyzed from January to May 2018 and the three clients with the highest number of complaints – Customer 1, Customer 2 and Customer 3 – were observed. The materials with the highest number of complaints were studied and it was verified that they were materials A and B, and it was concluded that these should be followed with special attention during its manufacturing process and during its winding process. The effect of reel thickness and width per material and per customer was analyzed. It was concluded that, with respect to material A, the thickness–width 0,240–420 mm was the most claimed (33 %), while in material B it was thickness–width 0,250–422 mm (60 %), it being verified that smaller thicknesses lead to a higher occurrence of telescoping.

Keywords: Polymers, Polyethylene terephthalate, Polyethylene, Extrusion, Telescoping.

Índice

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | iii |
| Resumo..... | v |
| Abstract..... | vii |
| Índice | ix |
| Índice de figuras..... | xi |
| Índice de tabelas | xiii |
| Abreviaturas | xv |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Enquadramento | 1 |
| 1.2. Apresentação da Empresa: Pentaplast, S.A. | 1 |
| 1.2.1. Qualidade..... | 2 |
| 1.3. Estrutura do Relatório | 3 |
| 2. Fundamentos teóricos..... | 5 |
| 2.1. Materiais poliméricos | 5 |
| 2.1.1. Politereftalato de etileno (PET)..... | 6 |
| 2.1.2. Polietileno (PE)..... | 10 |
| 2.2. Aditivos | 12 |
| 2.2.1. Agente anti-bloqueio / <i>Slip</i> | 12 |
| 2.2.2. Agente anti-embaciamento..... | 13 |
| 2.2.3. Agente de expansão..... | 13 |
| 2.2.4. <i>Masterbatch</i> | 13 |
| 2.2.5. Silicóne..... | 14 |
| 2.3. Produção / Consumo de plástico | 14 |
| 3. Processo Produtivo | 17 |
| 3.1. Armazenagem, secagem e dosagem..... | 17 |
| 3.2. Extrusão | 18 |
| 3.2.1. Extrusão Plana..... | 18 |
| 3.2.2. Extrusão Tubular..... | 20 |
| 3.2.3. Coextrusão..... | 21 |
| 3.3. Calandragem | 22 |
| 3.4. Laminagem | 22 |
| 3.5. Controlo de qualidade..... | 22 |
| 3.6. Bobinagem e armazenagem | 23 |
| 4. Controlo de Qualidade | 25 |

| | |
|---|----|
| 4.1. Determinação da força de adesão | 25 |
| 4.2. Determinação da força de atrito | 26 |
| 4.3. Determinação da força de retração | 26 |
| 4.4. Determinação da força <i>peel</i> | 27 |
| 4.5. Determinação da cor | 28 |
| 4.6. Medição de espessura | 28 |
| 4.7. Medição do <i>Haze</i> | 29 |
| 4.8. Calorimetria diferencial de varrimento (DSC) | 30 |
| 4.9. Medição da tensão de bobinado | 30 |
| 5. Telescopia | 33 |
| 5.1. Possíveis causas de ocorrência de telescopia | 33 |
| 6. Resultados e discussão | 37 |
| 7. Conclusões | 45 |
| Bibliografia | 47 |
| Anexos | 49 |
| Anexo A – Bobines devolvidas por telescopia | 49 |
| Anexo B – Reclamações por telescopia | 51 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Exemplo de aplicações das embalagens produzidas na Pentaplast, S.A. [2].... | 2 |
| Figura 2.1 – Polímeros: dos recursos primários aos produtos finais [5] | 6 |
| Figura 2.2 – Estrutura química do PET [6]..... | 7 |
| Figura 2.3 – Reação de polimerização do PET [6]..... | 7 |
| Figura 2.4 – Polimerização do PET utilizando o ácido tereftálico, onde a) Obtenção do ácido tereftálico; b) Obtenção do etileno-glicol; c) Reação entre o ácido tereftálico e etileno-glicol; d) Obtenção do PET [6] | 8 |
| Figura 2.5 – Polimerização do PET utilizando o dimetil tereftalato, onde a) Obtenção do di-metil-tereftálico; b) Obtenção do etileno-glicol; c) Reação entre o di-metil-tereftálico e etileno-glicol; d) Obtenção do PET [6] | 8 |
| Figura 2.6 – Estrutura química do etileno e do polietileno [11]..... | 10 |
| Figura 2.7 – Representação das cadeias de diferentes tipos de polietileno [14] | 11 |
| Figura 2.8 – Distribuição da produção mundial de materiais plásticos [21] | 15 |
| Figura 2.9 – Áreas de aplicação de materiais plásticos na Europa [21] | 15 |
| Figura 2.10 – Consumo de plásticos na Europa, em 2016, por segmento e por tipo de polímero [21] | 16 |
| Figura 3.1 – Esquema do processo produtivo..... | 17 |
| Figura 3.2 – Processo de extrusão plana [22]..... | 19 |
| Figura 3.3 – Duplo parafuso a) co-rotante b) contra-rotante [4] | 20 |
| Figura 3.4 – Processo de extrusão tubular [22] | 21 |
| Figura 3.5 – Processo de calandragem [23] | 22 |
| Figura 3.6 – Etapas do processo produtivo [22]..... | 23 |
| Figura 4.1 – Provetes colocado nas garras do dinamómetro..... | 25 |
| Figura 4.2 – Determinação da força de atrito..... | 26 |
| Figura 4.3 – Marcação dos provetes..... | 27 |
| Figura 4.4 – Medição dos provetes..... | 27 |
| Figura 4.5 – Colorímetro..... | 28 |
| Figura 4.6 – Sistema CIELab..... | 28 |
| Figura 4.7 – Micrómetro..... | 29 |
| Figura 4.8 – Equipamento para medição do <i>Haze</i> | 29 |
| Figura 4.9 – Equipamento DSC | 30 |
| Figura 4.10 – Colocação do êmbolo | 31 |
| Figura 5.1 – Efeito de telescopia | 33 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.2 – Bobine com zona bem bobinada (verde escuro) e zona mal bobinada – telescopiada (verde claro) | 33 |
| Figura 6.1 – Representação gráfica da espessura do filme (mm) ao longo da largura da bobine 1, imediatamente antes (—●—) e depois (—■—) da zona telescopiada | 38 |
| Figura 6.2 – Representação gráfica da espessura do filme (mm) ao longo da largura da bobine 2, imediatamente antes (—●—) e depois (—■—) da zona telescopiada | 38 |
| Figura 6.3 – Representação gráfica do número de reclamações por cliente | 39 |
| Figura 6.4 – Representação gráfica do número de reclamações por material | 40 |
| Figura 6.5 – Representação gráfica do número de reclamações por cliente, apenas para o Material B | 40 |
| Figura 6.6 – Representação gráfica da percentagem de reclamações pelos Clientes 1, 2 e 3 | 41 |
| Figura 6.7 – Representação gráfica da percentagem reclamada pelo Cliente 1 em função da Espessura – Largura (mm) do filme composto pelo Material A | 42 |
| Figura 6.8 – Representação gráfica da percentagem reclamada pelos Clientes 2 e 3 em função da Espessura – Largura (mm) do filme composto pelo Material B | 43 |

Índice de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Propriedades do PET | 9 |
| Tabela 4.1 – Diferentes perfis de bobine..... | 31 |
| Tabela 6.1 – Valores da média de tensão de bobinado (N/mm), amplitude e respetivos valores limite | 37 |
| Tabela A.1 – Valores de tensão de bobinado (N/mm) e respetivas média e amplitude | 49 |
| Tabela A.2 – Valores de espessura (mm) medidos antes e depois da zona telescopiada ... | 49 |
| Tabela B.1 – N ^o Reclamações e n ^o encomendas sem reclamação de acordo com o cliente, material, espessura e largura das bobines | 51 |

Abreviaturas

ASTM – American Society for Testing and Materials

BRC/loP – *Global Standard for Packaging and Packaging Materials*

DMT – Dimetil tereftalato

DSC – Calorimetria Diferencial de Varrimento

EG – Etileno glicol

HACCP – Sistema de Análise de Riscos e Pontos Críticos de Controlo

ISO – *International Standards Organization*

PE – Polietileno

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PEBDL – Polietileno de Baixa Densidade Linear

PET – Politereftalato de etileno

PTA – Ácido tereftálico

PVC – Policloreto de vinilo

1. Introdução

1.1. Enquadramento

No âmbito da unidade curricular DISEST, o estágio para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química foi realizado na empresa Pentaplast, S.A., em Santo Tirso – Porto. Teve início a 9 de abril e término a 31 de julho de 2018. O horário de trabalho foi de segunda a sexta-feira das 9h às 17h30. O trabalho foi desenvolvido no Departamento de Qualidade e Tecnologia da empresa em questão.

Um problema ocorrente na empresa e que se traduz em quase um quarto das reclamações totais obtidas é a telescopia – ocorre quando uma bobine não foi “enrolada” corretamente e cuja parede lateral se projeta para fora, aparentando a forma de telescópio. Problemas de tensão ou um mau começo do enrolamento da bobine poderão conduzir a essa condição que se deteta apenas quando a encomenda chega ao cliente e este faz a desbobinagem das bobines. Este projeto tem então como objetivo minimizar a ocorrência de telescopia no cliente.

Numa primeira fase houve o acompanhamento do processo produtivo tendo-se especial atenção à etapa final de enrolamento do filme em forma de bobines – produto final da Pentaplast, S.A. Seguiu-se também a medição da tensão de bobinado, etapa de controlo de qualidade fundamental e realizada pelos operadores das máquinas de produção após a finalização das bobines. Simultaneamente, prestou-se apoio ao Laboratório de Qualidade e Tecnologia da empresa em questão.

1.2. Apresentação da Empresa: Pentaplast, S.A.

Com o intuito de preencher uma lacuna no mercado nacional na área da extrusão de matérias plásticas, surgiu, em 1959, a sociedade em nome individual – Neoplástica, fundada pelo Engenheiro Manuel Gil.

Inicialmente a atividade da empresa baseava-se em produtos para a construção civil, nomeadamente perfis para janelas, tubos e juntas de dilatação. O polímero utilizado na fabricação destes produtos era o Policloreto de vinilo (PVC).

Estando ciente das alterações ocorridas nas últimas décadas na sociedade, a Neoplástica anteviu as novas perspectivas de utilização de materiais plásticos e diversificou a sua produção para o setor de embalagem alimentar, aumentando o parque de máquinas de extrusão de filme tubular e de máquinas de extrusão com feira plana.

Devido a fortes pressões ambientais sobre a utilização de PVC, principalmente no setor alimentar, a Neoplástica decide investir na produção de um material novo e emergente para substituição do PVC – o Politereftalato de etileno (PET).

Em novembro de 2002, a Neoplástica foi adquirida pelo grupo multinacional Klöckner Pentaplast que possui fábricas na Europa, América e Ásia sendo líder mundial em produção de filme de chapa rígida de alta qualidade.

Em setembro de 2006 inicia-se a construção da nova fábrica em Água Longa, Santo Tirso.

Em junho de 2009 dá-se a transferência da produção de filme para aplicação médica da fábrica de Muri (Suíça) para a fábrica de Santo Tirso. Em dezembro do mesmo ano a empresa Neoplástica muda o nome para Pentaplast, S.A., pertencente ao grupo Klöckner Pentaplast.

A Pentaplast, para além de servir o mercado nacional, é um forte e competitivo exportador, que tem vindo a aumentar progressivamente as suas vendas no mercado externo, tendo como principais destinos a Alemanha, Holanda, Inglaterra, Espanha e França [1,2]. Na Figura 1.1 estão representados alguns exemplos de aplicações em embalagens dos filmes produzidos na Pentaplast.



Figura 1.1 – Exemplo de aplicações das embalagens produzidas na Pentaplast, S.A. [2]

1.2.1. Qualidade

Num mercado cada vez mais competitivo e exigente a qualidade é um fator que marca a diferença. A Pentaplast, S.A. é uma empresa certificada pela norma ISO 9001, norma de Sistema de Gestão da Qualidade, que garante que a qualidade dos produtos se inicia na receção das matérias-primas e termina na entrega do produto final ao cliente.

Além da certificação anterior, é também certificada pela norma de Segurança Alimentar para a Indústria de Embalagem, BRC/IoP.

A empresa do grupo Klöckner Pentaplast cultiva o princípio da melhoria contínua, sendo exemplo disso as várias etapas de certificação [2]:

- ✓ **1998:** Certificação pela ISO 9002 (Sistema de Gestão da Qualidade);
- ✓ **2001:** Certificação pela ISO 9001:2000 (Sistema de Gestão da Qualidade);
- ✓ **2005:** HACCP (Sistema de Análise de Riscos e Pontos Críticos de Controlo): Sistema utilizado na indústria alimentar e quem trabalha direta ou indiretamente para a mesma;
- ✓ **2007:** BRC/IoP (Norma destinada à Segurança Alimentar para a Indústria de Embalagem);
- ✓ **2008:** Certificação pela ISO 9001:2008 (Sistema de Gestão da Qualidade);
- ✓ **2015:** Renovação da Certificação BRC/IoP (Versão 5).

1.3. Estrutura do Relatório

O presente relatório está dividido em sete capítulos, onde estão documentados os temas abordados. No primeiro capítulo é apresentado o enquadramento do trabalho e uma introdução à empresa onde se desenvolveu o projeto.

No capítulo 2, é feita uma visão macro dos materiais poliméricos, dos termoplásticos politereftalato de etileno (PET) e polietileno (PE), assim como dos aditivos utilizados na Pentaplast, S.A. Também é abordada a produção/consumo de plásticos a nível mundial e mais concretamente na Europa.

Os processos de transformação de polímeros, nomeadamente a extrusão plana, a extrusão tubular e a coextrusão são descritos no capítulo 3, juntamente com uma descrição detalhada do processo produtivo da empresa.

De seguida, no capítulo 4, são abordados os métodos de controlo de qualidade executados ao longo do estágio.

No quinto capítulo é abordado o problema de telescopia e as suas possíveis causas de ocorrência.

No sexto capítulo incluem-se os resultados obtidos e uma análise crítica dos mesmos.

Por fim, no capítulo 7, apresentam-se as conclusões e as perspetivas de trabalhos futuros.

2. Fundamentos teóricos

Considerando a área de atividade da Pentaplast, S.A é relevante introduzir os conceitos base inerentes a materiais poliméricos, tais como os descritos neste capítulo 2.

2.1. Materiais poliméricos

A palavra “plástico” deriva do adjetivo grego *plastikós* que significa “moldável”. Os plásticos são materiais constituídos por polímeros, compostos moleculares que resultam da união de várias moléculas (ou unidades estruturais) iguais ou semelhantes entre si (monómeros) e que se caracterizam por uma elevada massa molecular. Existem polímeros naturais (que inclui materiais como a celulose, o amido, o âmbar, etc.) e polímeros sintéticos (presentes no plástico, na borracha sintética, etc.) [3].

Os polímeros sintéticos podem ser classificados em dois grupos distintos, quanto à sua resistência mecânica: os termoendurecíveis e os termoplásticos.

Os termoendurecíveis são polímeros rígidos e frágeis, sendo muito estáveis a variações de temperatura. Uma vez transformados, não se podem fundir novamente, visto que ao serem aquecidos formam ligações cruzadas entre as cadeias lineares, criando uma estrutura de cadeia tridimensional estável, a qual impede um novo deslocamento das moléculas do polímero, e com um novo aquecimento e pressão da estrutura, somente haverá o rompimento da cadeia, resultando na degradação das suas propriedades. Como exemplos de termoendurecíveis destacam-se os compostos: poliéster, epóxi, fenólico e poliuretano.

Os polímeros termoplásticos são materiais que se tornam maleáveis quando aquecidos, são moldados ou enformados sob pressão no seu estado fundido e solidificam quando arrefecidos, retendo a forma. Uma vez que esta é uma mudança física sem que ocorra nenhuma mudança química, o processo é reversível e pode ser repetido sem perda significativa das suas propriedades [4]. Os principais polímeros termoplásticos são: politereftalato de etileno (PET), polietileno (PE), policloreto de vinilo (PVC), polipropileno (PP) e poliestireno (PS). Os produtos fabricados na Pentaplast baseiam-se principalmente em duas famílias de materiais – PET e PE – sendo estes pormenorizados mais à frente.

A maioria dos polímeros utilizados atualmente, tais como plásticos, borrachas e fibras, são sintetizados a partir de monómeros químicos derivados de petróleo, na presença de um catalisador e de uma fonte de energia, tipicamente calor. Os monómeros são processados na forma de um fluido ou de uma solução ou emulsão, através de dois processos:

condensação e adição/polimerização [5]. Na Figura 2.1 apresenta-se o esquema de produção de materiais poliméricos.

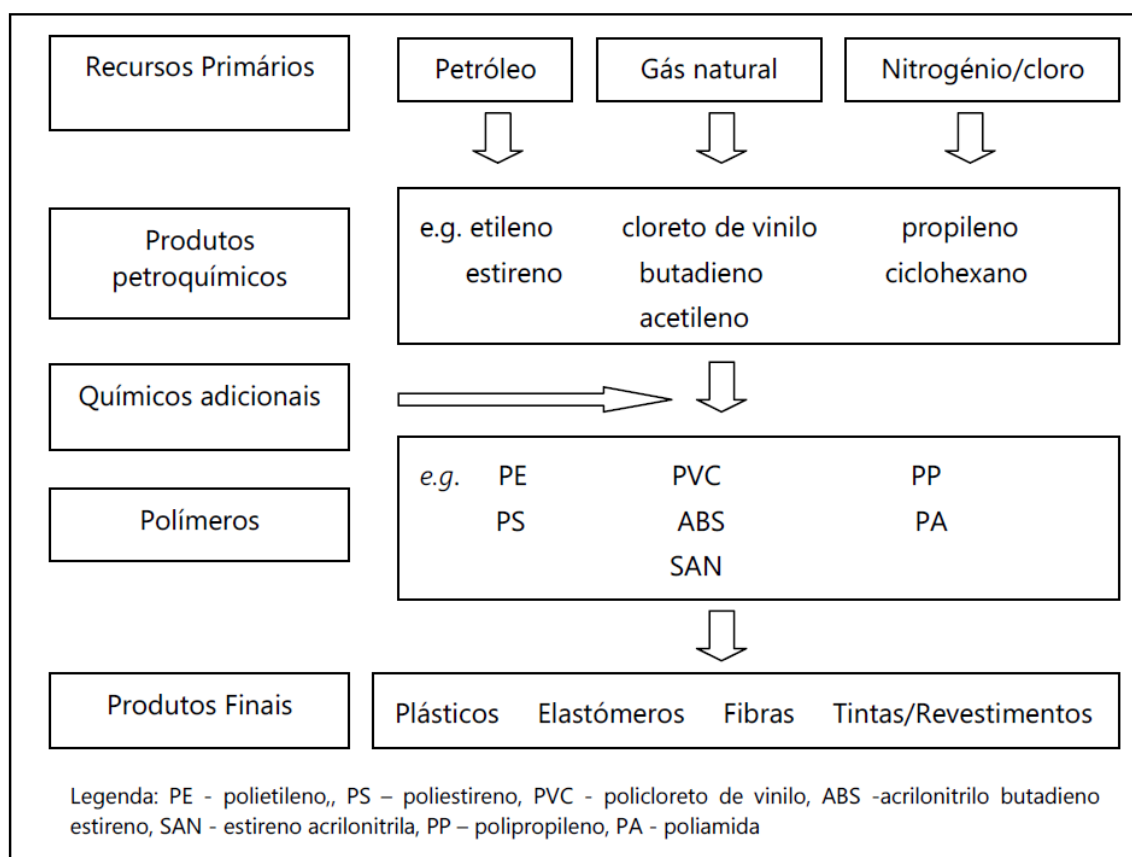


Figura 2.1 – Polímeros: dos recursos primários aos produtos finais [5]

A partir de petróleo, gás natural e nitrogénio/cloro é possível obter uma série de produtos petroquímicos, identificados na Figura 2.1, que na presença de químicos adicionais permitem obter polímeros, como por exemplo, polietileno, poliestireno, policloreto de vinilo, polipropileno, entre outros.

2.1.1. Politereftalato de etileno (PET)

O politereftalato de etileno (PET) é um poliéster termoplástico de estrutura molecular considerada regular, com polaridade média, dando formação a regiões cristalinas (Figura 2.2). A velocidade de cristalização do material é um fator reduzido devido aos anéis aromáticos volumosos, que são os responsáveis pela formação de segmentos rígidos, podendo assim existir como material transparente (amorfo) ou opaco (semicristalino), dependendo das condições de processamento [6].

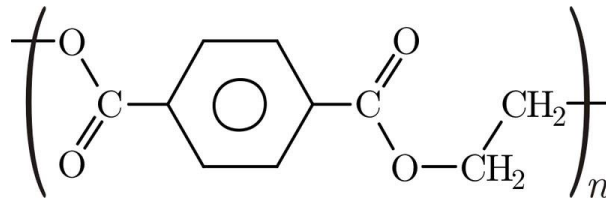


Figura 2.2 – Estrutura química do PET [6]

O PET é um polímero produzido por condensação, por meio da reação entre o ácido tereftálico (PTA) – ou o dimetil tereftalato (DMT) – e, o etileno glicol (EG). A polimerização ocorre por aquecimento dos reagentes na presença de um catalisador com remoção de água ou de metanol (Figura 2.3).

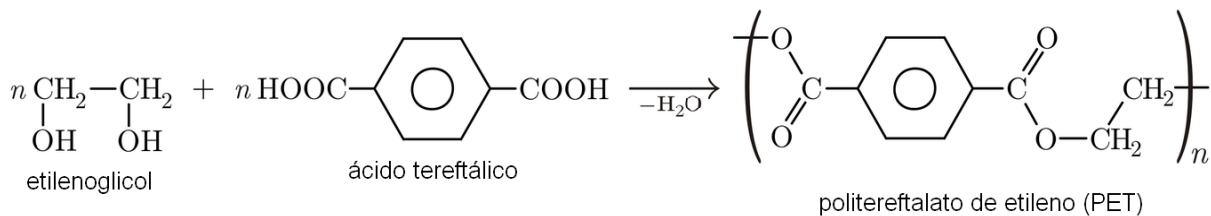


Figura 2.3 – Reação de polimerização do PET [6]

Nesta fase forma-se o bis-2-hidroxi-tereftalato, conforme as Figuras 2.4 c) e 2.5 c). A água ou o metanol formados são retirados do meio por colunas de destilação. Assim, o monómero é passado para a polimerização, onde ocorre a policondensação líquida (Figuras 2.4 d) e 2.5 d)). O glicol da reação é retirado com o aumento da viscosidade intrínseca do polímero. Após todo este processo, o polímero amorfo é retirado do polimerizador, arrefecido, ocorrendo solidificação, recortado e armazenado [6].

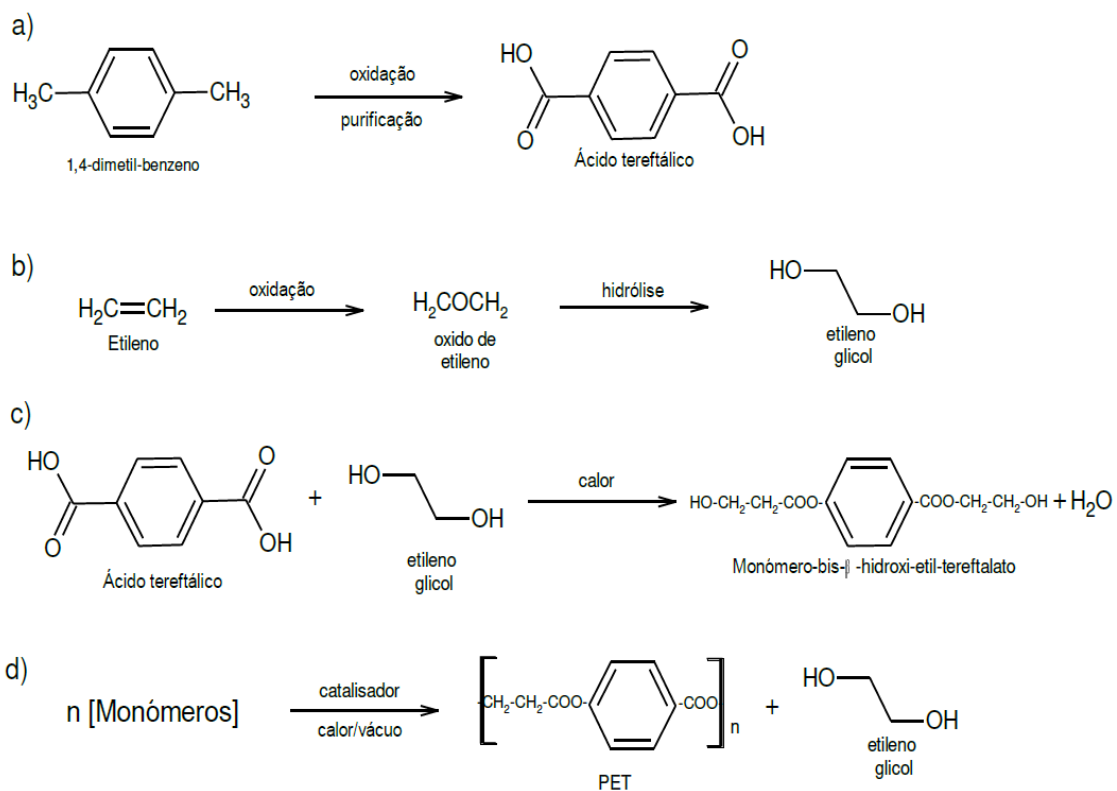


Figura 2.4 – Polimerização do PET utilizando o ácido tereftálico, onde a) Obtenção do ácido tereftálico; b) Obtenção do etileno-glicol; c) Reação entre o ácido tereftálico e etileno-glicol; d) Obtenção do PET [6]

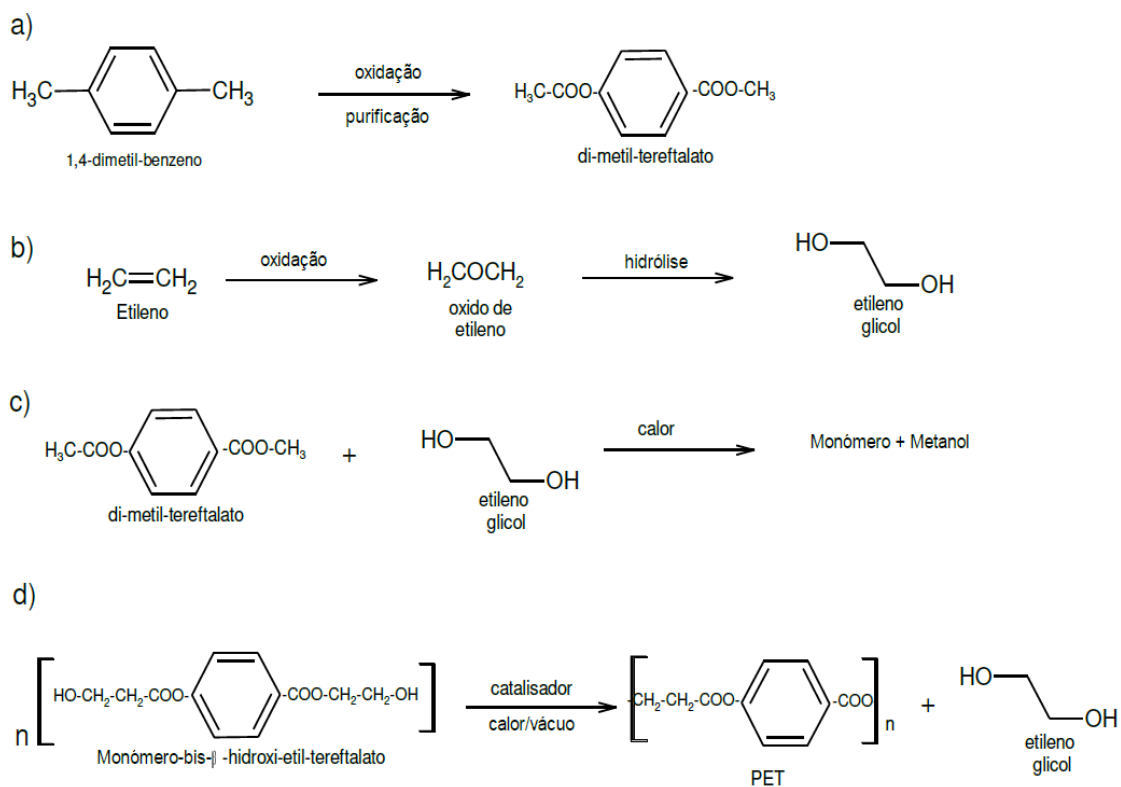


Figura 2.5 – Polimerização do PET utilizando o dimetil tereftalato, onde a) Obtenção do di-metil-tereftálico; b) Obtenção do etileno-glicol; c) Reação entre o di-metil-tereftálico e etileno-glicol; d) Obtenção do PET [6]

O PET é um poliéster de dureza elevada, rígido, resistente ao desgaste, possui excelente transparência, é dimensionalmente estável, resistente a produtos químicos, óleos e gorduras, tem excelentes propriedades de barreira a gases e à humidade e boas propriedades dielétricas. A sua resistência à tração e a estabilidade térmica aumentam substancialmente com o aumento da cristalinidade e orientação. As boas propriedades de barreira a gases e à humidade do PET, juntamente com o facto de ser rígido e transparente, tornam-no ideal para garrafas de bebidas. A sua elevada resistência ao calor combinada com excelentes propriedades mecânicas torna-o especialmente adequado para embalagens de alimentos pré-cozinhados e saquetas de alimentos para aquecer dentro da embalagem, que estão em contacto com alimentos a temperatura elevada. Outros usos comuns para o PET, incluem fibras para roupa, carpetes e malas [7].

O PET pode ser processado por injeção, extrusão, sopro e termoformagem. Por ser um material higroscópico, isto é, um material que absorve rapidamente a humidade do ar, o PET necessita de secagem por um período entre 4 e 6 horas, um tempo considerado longo em relação a outros termoplásticos. A temperatura de secagem deve ser alta, entre 160 e 175°C. Se essa resina for submetida ao processo de transformação sem uma secagem adequada, conseqüentemente sofrerá degradação por hidrólise tendo redução do peso molecular, perda de viscosidade intrínseca e de propriedades físicas.

As temperaturas para o processamento por extrusão situam-se entre os valores de 270 e 281°C [8].

Algumas das propriedades físicas, térmicas e mecânicas deste material estão esquematizadas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Propriedades do PET

| Propriedades | |
|--|-----------------|
| Densidade, g/cm ³ | 1,3 – 1,4 [9] |
| Ponto de fusão, °C | 260 [10] |
| Índice de refração | 1,58 – 1,64 [9] |
| Viscosidade intrínseca, dL/g | 0,64 [10] |
| Condutividade térmica, W m ⁻¹ K ⁻¹ | 0,15 – 0,4 [9] |
| Coeficiente de fricção | 0,2 – 0,4 [9] |

2.1.2. Polietileno (PE)

O polietileno (PE) é o mais simples dos polímeros comerciais e constitui o grupo de alcanos mais comercializado. É formado pela abertura da cadeia dupla de moléculas de etileno e sua união em cadeias lineares ou ramificadas [5], como o representado na figura 2.6.

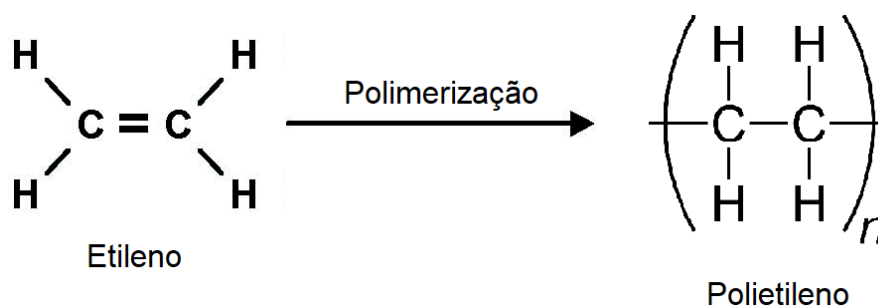


Figura 2.6 – Estrutura química do etileno e do polietileno [11]

O PE é um polímero semicristalino e flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pelas quantidades relativas das fases amorfa e cristalina. Em condições normais, os polímeros etilénicos não são tóxicos, podendo ser utilizados em aplicações com contacto com produtos alimentícios e farmacêuticos [12].

Devido à sua natureza semicristalina, os polietilenos não exibem a sua densidade teórica de $1,00 \text{ g/cm}^3$ (ou o ponto de fusão teoricamente esperado de cerca de 135°C), mas mostram uma gama surpreendentemente ampla de propriedades físicas [13]. O polietileno é dividido em três principais classificações baseadas na densidade:

- ✓ Polietileno de Baixa Densidade (PEBD): $0,910 - 0,930 \text{ g/cm}^3$;
- ✓ Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL): $0,915 - 0,940 \text{ g/cm}^3$;
- ✓ Polietileno de Alta Densidade (PEAD): $0,940 - 0,965 \text{ g/cm}^3$.

As configurações em cadeia para PEAD, PEBDL e PEBD são apresentadas na Figura 2.7. Todos os polietilenos são relativamente moles e a dureza aumenta à medida que a densidade também aumenta. Geralmente, quanto maior a densidade, melhor a estabilidade dimensional e as propriedades físicas. A estabilidade térmica dos polietilenos varia de 88°C para o material de baixa densidade até 121°C para o material de alta densidade. Geralmente, a força de escoamento e a temperatura de fusão aumentam com a densidade, enquanto que o alongamento diminui com o aumento da densidade [14].

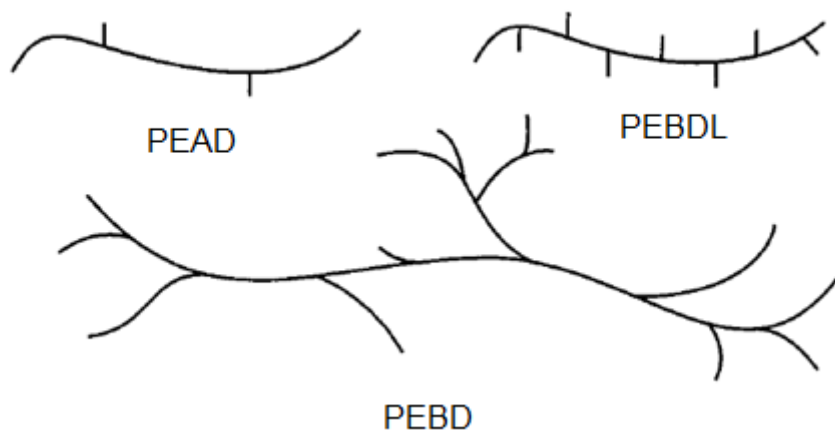


Figura 2.7 – Representação das cadeias de diferentes tipos de polietileno [14]

O polietileno de baixa densidade (PEBD) é um polímero parcialmente cristalino (50-60%), cuja temperatura de fusão está entre 110 e 115°C. Este polietileno contém cadeias ramificadas, sendo que estas ramificações são, na maioria das vezes, tão longas quanto à cadeia principal do polímero. O PEBD é formado via polimerização por radicais livres. O PEBD combina alta resistência ao impacto, tenacidade e ductilidade; exibe excelente resistência à corrosão, ótimas propriedades de isolamento, ausência de cheiro e de sabor. É o material de escolha para filmes de embalagem, nos quais o PEBD atua como uma camada de selagem ou uma barreira ao vapor de água. É também utilizado em camadas protetoras de superfícies, tubos, produtos de uso doméstico e isolantes elétricos [11, 12, 14].

O polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) apresenta uma estrutura molecular de cadeias lineares com ramificações curtas (Figura 2.7) e distribuição de peso molecular estreita quando comparada com a do polietileno de baixa densidade.

O PEBDL é mais cristalino que o PEBD, consequência do baixo teor de ramificações curtas e da ausência de ramificações longas, cristalizando em lamelas mais ordenadas e mais espessas do que o PEBD. Consequentemente, o PEBDL apresenta melhores propriedades mecânicas e maior temperatura de fusão. É utilizado em filmes para uso industrial, fraldas descartáveis e absorventes, brinquedos, artigos farmacêuticos e hospitalares, revestimento de fios e cabos [15].

O polietileno de alta densidade (PEAD) é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. A sua temperatura de fusão é de, aproximadamente, 132°C. O PEAD é comumente polimerizado por dois métodos de polimerização: um envolve o catalisador Phillips (óxido de cromo) e o outro envolve o sistema de catalisadores Ziegler-Natta [14, 15].

A excelente resistência química do PEAD torna-o ideal para embalagem de químicos caseiros e industriais, tais como detergentes, lixívia e ácidos. O seu alongamento moderado e as características de resistência elevada tornam-no especialmente adequado para sacos de compras, como os que se podem encontrar nos supermercados. Enfim, o PEAD e o PEBD têm muitas aplicações em comum, mas em geral, o PEAD é mais duro e resistente e o PEBD é mais flexível e transparente [7, 15].

2.2. Aditivos

Durante o processo de fabricação de filmes para embalagens plásticas, torna-se necessário melhorar as propriedades dos polímeros adicionando aditivos, sem que tal ação altere de maneira significativa a sua estrutura química. Normalmente, os aditivos são compostos com baixa massa molecular, dispersos na matriz polimérica. Estes aditivos usados em plásticos classificam-se conforme as suas funções no material. Para que os aditivos sejam eficientes em embalagens plásticas, existem requisitos importantes que devem ser considerados, como atender o objetivo da sua adição, ser económico na sua aplicação, desde manutenção, preparo e tecnologia de aplicação, e principalmente, não ser nocivo à saúde do consumidor [6, 16]. Existe uma variedade de aditivos que são incorporados para a modificação de características dos termoplásticos, contudo na Pentaplast são apenas utilizados os seguintes: agentes anti-bloqueio/*slip*, anti-embaciamento, expansão, *masterbatch* e silicone.

2.2.1. Agente anti-bloqueio / *Slip*

O agente anti-bloqueio, também designado por alisante, atua de modo a impedir que vários filmes plásticos adiram uns aos outros devido ao aumento da eletricidade estática. Pode ser aplicado externamente ou internamente e inclui materiais tais como ceras, sais metálicos, ácidos graxos, sílicas pirogénicas e até mesmo outros plásticos (por exemplo, o álcool polivinílico, o dimetil polissiloxano e os fluoroplásticos). Embora os materiais orgânicos e inorgânicos sejam usados como agentes anti-bloqueio, os inorgânicos constituem a maior parte do mercado. Os quatro tipos principais de agentes anti-bloqueio são: a terra de diatomáceas (organismo unicelular), o talco, o carbonato de cálcio e as sílicas e silicatos sintéticos. O agente anti-bloqueio é utilizado em filmes de poliolefina em conjunto com agentes deslizantes (*slip*), nomeadamente, em sacos de lixo e uma variedade de aplicações de embalagem.

O agente de deslizamento (*slip*) executa muitas das mesmas funções que o agente anti-bloqueio, contudo, o agente de deslizamento também desempenha um papel durante o processamento, ou seja, evita que o plástico adira ao metal [14].

2.2.2. Agente anti-embaciamento

O agente anti-embaciamento destina-se a evitar o embaciamento que poderia turvar a visão em produtos tais como: películas de embalagens de cloreto de polivinilo (PVC) ou janelas de PVC. O efeito de embaciamento nestes produtos é o resultado da condensação de água na superfície interna da película (por exemplo, numa embalagem a água irá frequentemente originar-se dos produtos embalados, tais como alimentos). Os agentes anti-embaciamento são, tipicamente, ésteres de ácidos gordos específicos, que atuam quer fazendo com que as gotas de água formem uma película continua na superfície interior, quer conferindo uma característica hidrofóbica para a superfície do filme, impedindo, assim, a formação de gotas de água [14].

2.2.3. Agente de expansão

O agente de expansão, também designado como agente espumante, é uma substância química que é adicionada aos plásticos, gerando gases inertes após o aquecimento. Estes fazem com que o plástico se expanda, formando assim uma espuma ou uma estrutura celular. Existem dois grupos de agentes de expansão: agentes físicos e agentes químicos. Os agentes físicos de expansão são usados extensivamente em espumas de poliuretano rígidas e flexíveis, enquanto os agentes químicos de expansão são usados em quase qualquer termoplástico ou termorrígido, e podem ser orgânicos ou inorgânicos.

O agente de expansão é usado em plásticos por várias razões, tais como: redução de peso, economia de custos e materiais e obtenção de novas propriedades. As novas propriedades incluem isolamento contra calor ou ruído, aparência de superfície diferente e rigidez aprimorada [14].

2.2.4. Masterbatch

O *masterbatch* é um concentrado de pigmentos orgânicos ou inorgânicos de elevado poder tintorial, acrescidos de um veículo aglomerante feito de polímero termoplástico compatível com o polímero de aplicação, podendo ainda ser acrescentados aditivos para

criar ou melhorar propriedades específicas, bem como proporcionar melhor dispersão e distribuição.

Depois de conhecer qual será a aplicação do produto final, para definir quais os corantes a serem utilizados, e qual o veículo que será empregue durante o processo, é necessário perceber algumas características dos polímeros para se desenvolver corretamente o *masterbatch* e alcançar a cor desejada no produto transformado, tais como: o tipo de polímero (estrutura amorfa ou semicristalina); o índice de fluidez; a tonalidade natural; a temperatura do processo e o tempo de residência durante o processo [17].

2.2.5. Silicone

O aditivo de silicone, fornecido na forma de pó, emulsão ou resina, é utilizado como aprimoramento de superfície e auxiliar de processamento para plásticos. Com os benefícios do manuseio fácil, boa dispersão e não-migração, o aditivo de silicone pode melhorar as propriedades físicas com mais eficiência e eficácia, como um menor coeficiente de atrito (maior deslizamento). O coeficiente de atrito é bastante reduzido dependendo da quantidade adicionada. Essa redução no coeficiente de atrito é encontrada numa ampla faixa de taxas de cisalhamento e é muito mais uniforme do que nos óleos convencionais de silício. Ao contrário de outros lubrificantes e agentes auxiliares não baseados em silicone, o ingrediente ativo é incolor e inodoro e aprovado como adequado para aplicações de contato com alimentos. Devido à baixa quantidade adicionada, a relação preço / desempenho dos aditivos é particularmente favorável, apesar do alto custo dos aditivos individuais [18, 19].

2.3. Produção / Consumo de plástico

O aumento da população global e a melhoria geral do nível de vida são os principais fatores do crescimento global do consumo de plásticos. O efeito da melhoria do nível de vida pode ser visto em vários mercados de aplicação, a começar pela embalagem de produtos alimentares de primeira necessidade, e também na variedade de embalagens para armazenagem e transporte [20].

De acordo com a Associação Europeia da Indústria dos Plásticos (PlasticsEurope), em 2016, a produção mundial de plástico foi, cerca de, 335 milhões de toneladas – que inclui termoplásticos e poliuretanos e outros plásticos (termorrígidos, adesivos, revestimentos e selantes) – continuando assim com o padrão de crescimento da indústria. 60 milhões de toneladas de plástico foram produzidos na Europa [21]. Na Figura 2.8 está representada a distribuição da produção mundial de materiais plásticos, sendo a China (29%) a maior

produtora destes materiais, seguindo-se a Europa (19%) e a NAFTA – envolve os países Canadá, Estados Unidos da América e México – (18%).

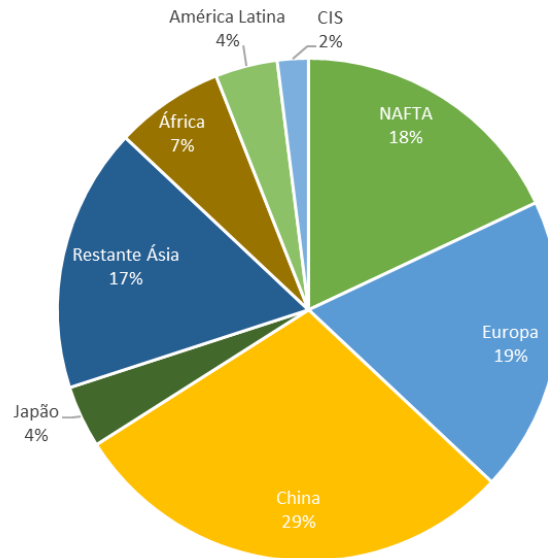


Figura 2.8 – Distribuição da produção mundial de materiais plásticos [21]

A indústria da embalagem continua a ser a área de maior aplicação para os plásticos, representando cerca de 40% do total de consumo, seguindo-se a construção civil com cerca de 20%. A indústria automóvel representa 10% e o uso na eletricidade e eletrónica cerca de 6%. A utilização em casa, lazer, desporto, agricultura e outras aplicações – inclui eletrodomésticos, móveis, engenharia mecânica, indústria médica, etc. – representam cerca de 24% (Figura 2.9).

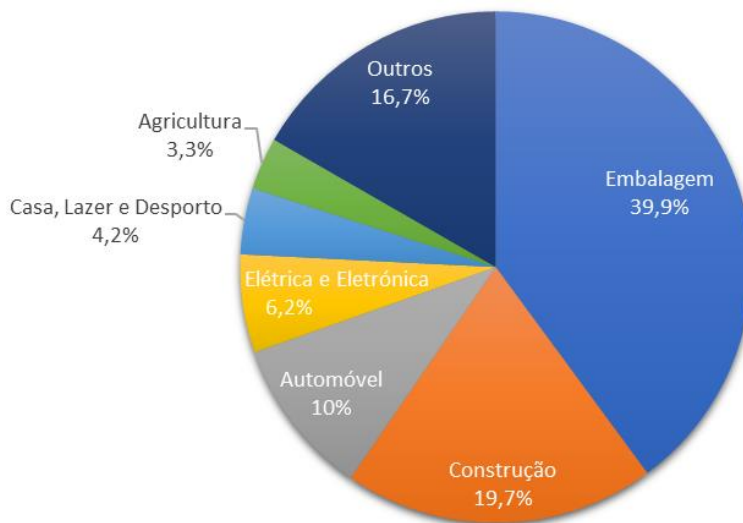


Figura 2.9 – Áreas de aplicação de materiais plásticos na Europa [21]

No âmbito do tema da presente dissertação, é de referir que a indústria das embalagens apresenta um maior consumo de polietileno (PE-LD, PE-LLD, PE-HD, PE-MD), de polipropileno (PP) e de politereftalato de etileno (PET) como se pode observar na figura 2.10.



Figura 2.10 – Consumo de plásticos na Europa, em 2016, por segmento e por tipo de polímero [21]

3. Processo Produtivo

A Pentaplast S.A. situa-se no mercado da transformação de plásticos, onde produz filmes rígidos à base de PET, essencialmente para a indústria alimentar, utilizados para embalar produtos, tais como, pizzas congeladas, carnes frescas ou processadas e diversos produtos de charcutaria. Fabricam também produtos destinados à indústria médica e cosmética, tais como: vacinas, implantes e instrumentos médicos, etc. [2]. Neste capítulo será feita a descrição do processo produtivo.

Na Figura 3.1, está representado o processo produtivo da empresa em questão.



Figura 3.1 – Esquema do processo produtivo

3.1. Armazenagem, secagem e dosagem

O processo produtivo inicia-se com a receção das matérias-primas que são transportadas em camiões cisterna e descarregadas nos silos exteriores da fábrica ou colocadas em armazém. A matéria-prima é fornecida em forma de grânulos, uma vez que é a forma mais proveitosa para manusear, transportar, misturar, armazenar, alimentar e processar o material no equipamento existente. Os grânulos podem assemelhar-se a cubos, cilindros, esferas, com dimensões entre 3 e 6 mm. No caso do material reciclado (*flakes*), o tamanho e a forma dos grânulos são muito irregulares.

Segue-se a etapa de alimentação dos silos no interior da fábrica que conduzem à alimentação das extrusoras. A matéria-prima contida nestes silos é aspirada até à tremonha,

passando por um processo de secagem com ar quente (170°C, durante 4h) ou por um sistema de vácuo de forma a eliminar a degradação das ligações poliméricas devido à humidade.

Posteriormente, o material passa para os doseadores por ação da gravidade. Os doseadores são de funcionamento contínuo, isto é, a matéria-prima passa por uma tremonha de pesagem individual para cada componente e é doseada através de uma mesa vibratória. Esta vibra de acordo com a velocidade a que a máquina trabalha. Quanto maior for a velocidade, maior a vibração e, conseqüentemente, maior a quantidade de matéria-prima alimentada. A vantagem deste sistema é o facto de permitir a homogeneização da mistura, uma vez que todos os componentes da mistura são doseados ao mesmo tempo. A desvantagem é a necessidade da correta calibração de todas as tremonhas de pesagem.

3.2. Extrusão

3.2.1. Extrusão Plana

O processo mais comum para o processamento de termoplásticos é a extrusão, em que o polímero é impulsionado continuamente ao longo de uma câmara de metal por um parafuso de Arquimedes e onde é fundido e compactado, e finalmente, forçado através de uma matriz. A forma do material dependerá da abertura da matriz [13, 14].

O processo de extrusão é empregue sempre que são exigidos comprimentos prolongados de um produto, por exemplo, filmes de plástico.

Uma extrusora é dividida em várias secções, cada uma com um propósito específico, conforme o esquematizado na figura 3.2. Na secção de alimentação, o polímero finamente dividido é alimentado por uma tremonha e impulsionado para a parte principal da extrusora. Na secção de compressão, o material é compactado e fundido, formando um fluxo contínuo de plástico. A maior parte do calor necessário para liquefazer a resina é derivada da ação mecânica de cisalhamento do parafuso, embora seja também fornecido um aquecimento externo através de resistências elétricas. A secção de medição contribui para um fluxo constante, sem espaços vazios ou bolhas, necessário para produzir dimensões uniformes no produto acabado, e acumula pressão suficiente no polímero fundido para o forçar através do resto da extrusora e para o exterior da matriz [14].

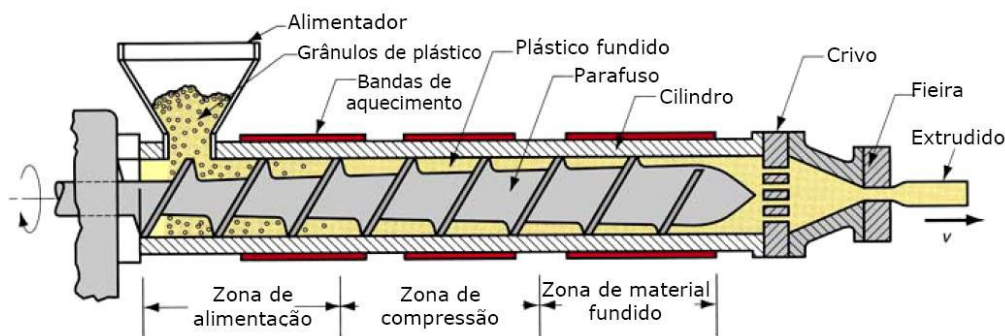


Figura 3.2 – Processo de extrusão plana [22]

Existem extrusoras com apenas um parafuso e extrusoras com dois ou mais parafusos de Arquimedes. A extrusora de monofuso consiste, essencialmente, nos seguintes sete elementos da máquina [14]:

- ✓ Uma garganta de alimentação na qual a matéria-prima é colocada (tremonha);
- ✓ A câmara de metal, que contém o parafuso e que, no seu exterior, está equipada com elementos de aquecimento e de refrigeração;
- ✓ O parafuso de Arquimedes, que age para plastificar os grânulos, aquece-os até um estado líquido e os transporta para a matriz;
- ✓ Um sistema de redução de motor e engrenagem usado para girar o parafuso;
- ✓ Pacotes de tela e placas de disjuntores aplicados para “filtrar” o material fundido e criar contrapressão;
- ✓ A matriz, que determina a forma da extrusão;
- ✓ Termopares, válvulas de manómetro e outros instrumentos utilizados para indicar e controlar as variáveis de temperatura, pressão e velocidade de rotação da máquina.

Na extrusora de monofuso a pré-secagem é fundamental, visto que a matéria-prima com humidade não pode ser processada, caso contrário o valor da viscosidade intrínseca do material iria diminuir acentuadamente. Uma das desvantagens das extrusoras de monofuso é a capacidade de secagem, por exemplo: para uma produção de 2 Ton/h, considerando um tempo de secagem de 4 h, seria necessário um silo com uma capacidade superior a 12 m³ ou, em alternativa, vários silos mais pequenos. A utilização dos *flakes*, devido à sua baixa densidade, implica que a sua secagem seja feita em silos com capacidade 2 a 3 vezes superior aos do material virgem.

As extrusoras de parafusos múltiplos usam dois a quatro parafusos. Em geral, são usadas quando é necessária maior ação de mistura dos materiais alimentados, sendo mais

completa nas extrusoras de multifuso do que nas de monofuso. Estes tipos de extrusoras incluem parafusos co-rotantes e contra-rotantes (Figura 3.3) [14].

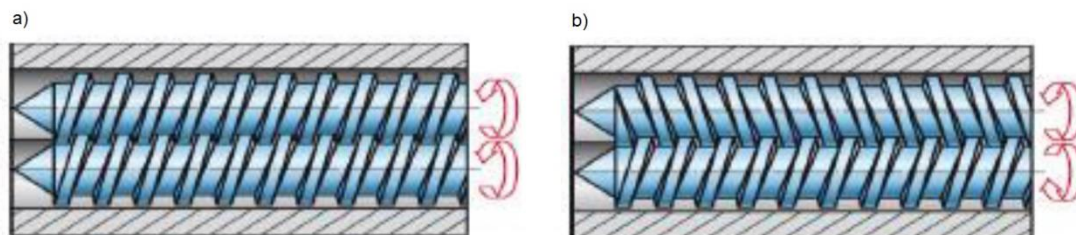


Figura 3.3 – Duplo parafuso a) co-rotante b) contra-rotante [4]

A secagem da matéria-prima antes de entrar na extrusora de parafuso duplo é substituída por uma bomba de vácuo existente na própria extrusora que retrai a humidade do material.

As temperaturas obtidas na extrusão plana oscilam entre 90°C e 295°C.

Antes de passar pela matriz, o material passa por um filtro, que faz a retenção de possíveis impurezas contidas na matéria-prima. Estas impurezas podem criar incrustações na fieira provocando imperfeições visuais no produto final (pontos ou riscos). Estes problemas são agravados com a utilização de material reciclado.

3.2.2. Extrusão Tubular

O processo de extrusão tubular é simples e baseia-se numa matriz anelar ligada a uma ou mais extrusoras. No caso de uma única extrusora, o material plástico é extrudido verticalmente formando-se uma espécie de balão, cujas paredes do filme são estiradas na circunferência pelo ar injetado. Deste modo, podem ser produzidos filmes de diâmetro uniforme e de paredes finas com uma velocidade rápida e contínua. Ao controlar adequadamente a taxa de ar injetado, é possível aumentar e controlar o diâmetro do tubo até um ponto em que o tubo é essencialmente um filme cilíndrico. O balão pode apresentar uma altura de 30 cm a 10 m e um diâmetro de vários metros. Após o arrefecimento em altura, o balão é dobrado de forma a obterem-se dois filmes planos que passam pelos rolos da calandra e são bobinados separadamente.

Para se conseguir um filme uniforme, é crucial manterem-se constantes as taxas de extrusão e um balão estável e simétrico em todos os momentos do processamento. As variáveis de processamento e o grau de resina utilizado para o sopro do filme, determinam também a qualidade e a uniformidade do filme [4, 14].

A Figura 3.4 mostra um esquema do processo de extrusão tubular.

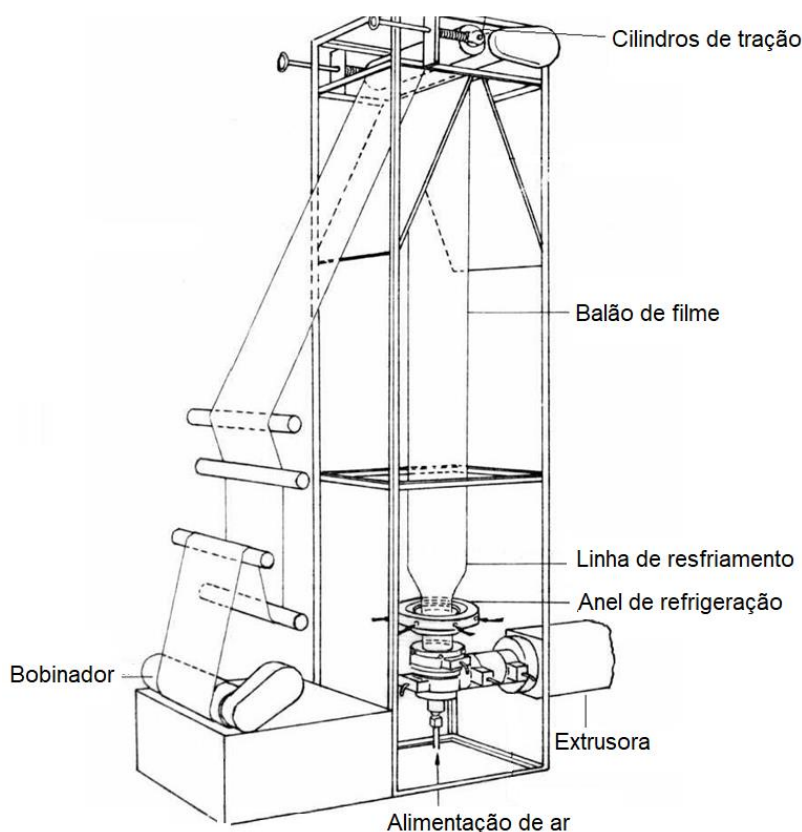


Figura 3.4 – Processo de extrusão tubular [22]

3.2.3. Coextrusão

A coextrusão é um processo de extrusão que agrupa dois ou mais materiais num único filme. Neste processo, dois materiais distintos são fundidos simultaneamente em extrusoras separadas e, posteriormente, reunidos numa mesma matriz para se obter um filme que combina as propriedades dos materiais processados [14].

A coextrusão permite otimizar as características dos polímeros, minimizando a quantidade necessária para desenvolver finalidades específicas de selagem, aderência, rigidez, brilho, entre outras, em comparação com um filme de monocamada onde os componentes estão misturados. Possibilita também a redução da espessura final do filme, mantendo o seu desempenho final. Assim, com apenas um processamento e a um custo mais baixo, é possível obter as propriedades desejadas para um filme de plástico.

Todavia, de forma a garantir a perfeita união entre as camadas do filme e a eficiência da força de colagem, é essencial uma excelente combinação de viscosidades entre os materiais que fazem parte da estrutura da multicamada [12].

3.3. Calandragem

Depois da passagem pela feira, a mistura fundida passa pela calandra (Figura 3.5) onde é arrefecida o mais rápido possível a uma temperatura abaixo do ponto de cristalização, para garantir que o produto final se encontra em estado amorfo, pois caso houvesse cristalização, o material ficaria mais rígido, correndo o risco de partir ou retrair aquando da termoformagem. O bom funcionamento do sistema de arrefecimento dos rolos da calandra e as velocidades a que o material sai da feira e a dos rolos é extremamente importante. Estes vão arrefecer, polir, ajudar a atingir a espessura pretendida e mantê-la uniforme. Está assim o filme de material plástico formado.

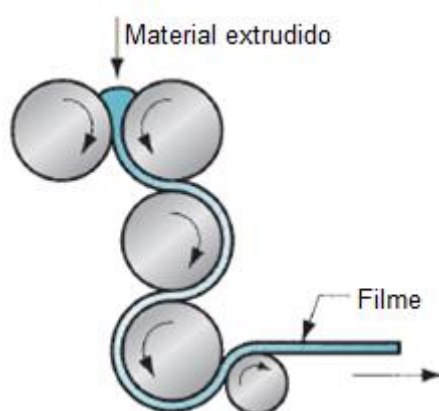


Figura 3.5 – Processo de calandragem [23]

3.4. Laminagem

O processo de laminagem tem como objetivo unir dois tipos de filme constituído por diferentes polímeros incompatíveis para acrescentar propriedades como permeabilidade a gases e líquidos ou soldadura permanente. O filme laminado é obtido através de uma temperatura na gama de 45-55°C.

3.5. Controlo de qualidade

Após todas estas etapas, o filme final passa por um sistema de controlo ótico capaz de verificar defeitos físicos que este possa apresentar, alertando sempre que o filme apresente defeitos como, pontos, riscos, buracos, entre outros, para isso é utilizado um leitor ótico.

3.6. Bobinagem e armazenagem

De seguida, o filme final segue para o bobinador que é um “enrolador” que permite obter as bobines para um mais fácil manuseamento (Figura 3.6). O filme é enrolado num tubo de cartão ou de PVC designado por mandril. O mandril é colocado num veio que permite que o mandril resista à pressão do enrolamento do filme e que funciona com ar comprimido injetável.

Num bobinador existe ainda um rolo de contacto que ao estar mais ou menos afastado das bobines, provoca mais ou menos tensão ao bobinado. Há um acionamento de tensão controlada tanto para o rolo de contacto como para o rolo de filme através de células de carga com um valor de input de tensão exercida aos rolos.

Quando a bobine apresenta o diâmetro requerido, o enrolamento é comutado para um mandril vazio através de um sistema de troca automático.

No bobinador é possível obter bobines de uma só largura ou de várias larguras (num máximo de três), havendo um sistema de corte após a calandra e antes de o filme ser enrolado.

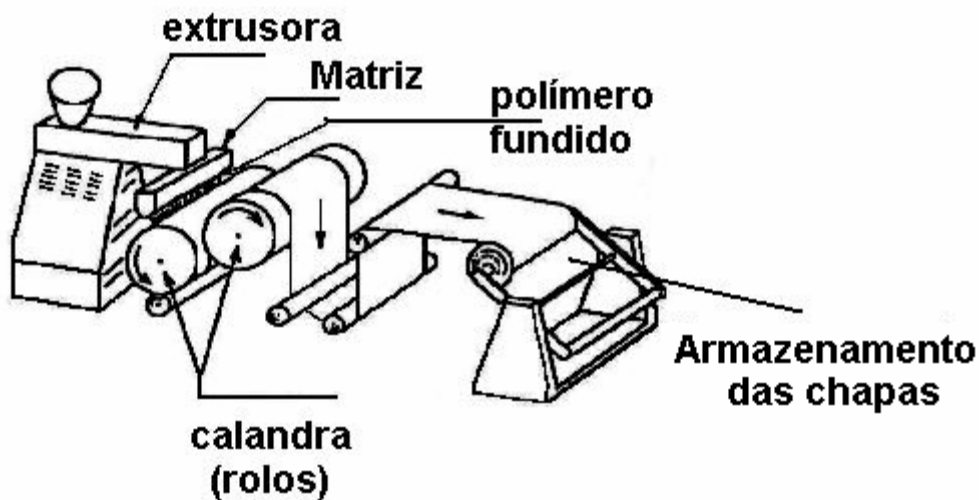


Figura 3.6 – Etapas do processo produtivo [22]

Posteriormente, as bobines vão para as cortadoras a fim de garantir as especificações dos clientes, como largura do filme e diâmetro das bobines ou, tal como mencionado anteriormente, no próprio bobinador, são produzidas as bobines com a largura e diâmetro finais, com o objetivo de seguir diretamente para o cliente. É nesta etapa que se realiza a medição da tensão de bobinado, ponto fulcral para se garantir a boa funcionalidade das bobines.

Por último, as bobines seguem para o armazém do produto acabado para que sejam expedidas para o cliente através do transporte adequado.

4. Controlo de Qualidade

Durante o estágio decorrido na empresa Pentaplast, S.A., paralelamente ao estudo da telescopia, foram efetuados diversos testes de controlo de qualidade cuja descrição dos seus procedimentos seguem-se neste capítulo 4.

4.1. Determinação da força de adesão

O teste de adesão tem como objetivo medir a força de adesão dos produtos coextrudidos e laminados *Inline*, por unidade de largura, necessária para separar progressivamente duas camadas sucessivas do mesmo produto. A força de adesão é medida por um dinamómetro e expressa em Newtons por 15 mm (N/15 mm).

Primeiramente, com o auxílio de um provete metálico, marca-se no sentido longitudinal uma amostra, cortando-a com a guilhotina. Com a ajuda de álcool, deslaminam-se manualmente as duas camadas da amostra (PET/PE), apenas o suficiente para colocar a amostra nas garras do dinamómetro (Figura 4.1). Logo que as duas camadas estejam separadas, o dinamómetro para e apresenta os resultados da força máxima e força média. É a força média que é utilizada para caracterizar a resistência do adesivo.

O valor mínimo admitido para os ensaios de força de adesão é de 4,5 N para filmes com espessura superior a 300 μm e de 3,5 N para filmes com espessura inferior a 300 μm .

Esta determinação foi efetuada segundo normas internas que têm como referências as normas ASTM F 904-98, ASTM D 618 e ISO 291.



Figura 4.1 – Provette colocado nas garras do dinamómetro

4.2. Determinação da força de atrito

O teste de força de atrito permite avaliar a dificuldade relativa do deslizamento entre duas superfícies plásticas. Esta propriedade é avaliada pela determinação do coeficiente de atrito que é a relação entre a força de atrito e a força perpendicular que atua entre as duas superfícies de contacto, normalmente a força da gravidade. O atrito pode ser estático – resistência oposta ao início do movimento relativo entre as duas superfícies – ou cinético – resistência oposta à continuidade de um movimento relativo entre duas superfícies.

Inicialmente, marca-se o provete com o auxílio de um molde metálico, identificando-se o lado da etiqueta e do verso. Corta-se o provete com a ajuda da guilhotina e coloca-se tanto o provete como a amostra de filme na estufa. Fixa-se a amostra no suporte e cola-se o provete no carrinho, alinhando o fio (Figura 4.2). Após a realização do teste, o dinamómetro para e apresenta os resultados da força estática e da força cinética, sendo esta última a utilizada para caracterizar a força de atrito. O valor obtido deverá ser inferior ou igual a 0,24.

Esta determinação foi efetuada segundo normas internas que têm como referências as normas ASTM D 1894, ASTM D 618 e ISO 291.



Figura 4.2 – Determinação da força de atrito

4.3. Determinação da força de retração

Neste ensaio determina-se a retração ou o alongamento de filmes plásticos quando aquecidos numa estufa, permitindo desta forma observar o comportamento do produto na fase de termoformação no cliente.

Após a definição do número de provetes de acordo com a largura do filme, marcam-se os provetes na longitudinal (L) e na transversal (T) à extrusão (Figura 4.3). Posteriormente, corta-se a amostra no corta-provetes, ficando com provetes na forma de quadrados com dimensão de 10 mm² que se colocam dentro de uma cartolina. Leva-se à estufa a uma

temperatura de 80°C, durante 10 minutos. Por fim, medem-se os provetes em ambas as direções (L/T) (Figura 4.4).

Esta determinação foi efetuada segundo o procedimento interno que tem como referências as normas DIN 53377-07, ASTM D 618 e ISO 291.

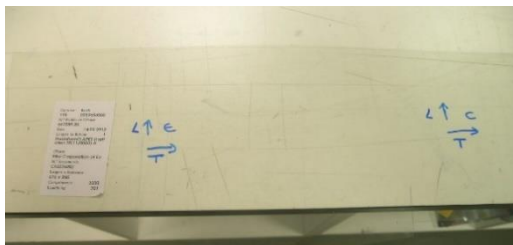


Figura 4.3 – Marcação dos provetes

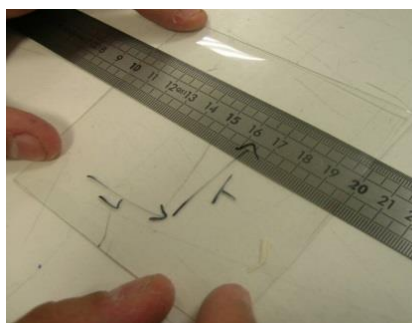


Figura 4.4 – Medição dos provetes

4.4. Determinação da força *peel*

Materiais *peel* são materiais destinados a embalagens de abertura fácil. O termo *peel* significa descascar, pelar. Através de um dinamómetro, este ensaio permite determinar a força de arrancamento entre o filme “base” e o filme “tampa”, apresentando os resultados da força máxima e da força média, esta última é a utilizada para caracterizar a força *peel* (N/15 mm).

Primeiramente, é necessário soldar o filme com o filme “tampa”, utilizando o aparelho de selagem. Deixa-se arrefecer e manualmente separa-se um pouco as duas camadas soldadas. De seguida, cortam-se os provetes utilizando a guilhotina. Prende-se a camada rígida na garra inferior do dinamómetro e a camada flexível na garra superior, de modo a que as duas camadas façam entre si um ângulo de 180° e inicia-se o ensaio. Após a separação completa das duas camadas do provete, o dinamómetro para e apresenta os resultados da força máxima e da força média.

O resultado da força *peel* em filmes *standard* é de $10,5 \pm 2,5$ N/15 mm.

Esta determinação foi efetuada segundo os procedimentos internos que têm como referências as normas ASTM F 904-91, ASTM D 618 e ISO 291.

4.5. Determinação da cor

A determinação da cor é obtida através de um colorímetro (Figura 4.5) – equipamento capaz de avaliar a cor através da reflexão da luz branca. Para analisar uma amostra basta posicioná-la no equipamento e acioná-lo, uma luz branca incide sobre a mesma e o retorno desta no equipamento fornece o resultado dos componentes da cor. Este resultado advém de um sistema tridimensional – CIELab – que traduz a cor em valores numéricos $L^*a^*b^*$.

Como representado na figura 4.6, as direções positivas e negativas dos eixos a^* e b^* descrevem a gama de cor vermelho/verde e amarelo/azul, respetivamente. O eixo vertical L^* traduz a medida da luminosidade que varia de 100 para um branco perfeito até 0 para um preto perfeito.



Figura 4.5 – Colorímetro

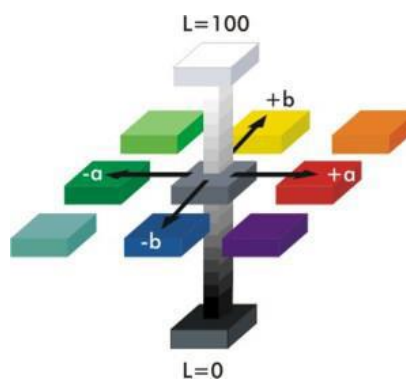


Figura 4.6 – Sistema CIELab

Depois do equipamento devidamente ligado, coloca-se a amostra que se pretende medir por cima do padrão. Por cima da amostra coloca-se o êmbolo de leitura e pressiona-se o botão lateral, de modo a efetuar a medição. No monitor surgem os valores de $L^* a^* b^*$ medidos que podem ser apontados diretamente na amostra ou impressos.

4.6. Medição de espessura

A fim de quantificar a distância perpendicular entre as duas superfícies principais dos filmes extrudidos, as amostras são submetidas à análise da espessura total. Utiliza-se como equipamento de análise um micrómetro digital de marca MITUTOYO (Figura 4.7) com escala de 0 a 25 mm e menor divisão de escala de 0,001 mm (1 μm).



Figura 4.7 – Micrómetro

Antes de mais, é necessário garantir que o equipamento está perfeitamente calibrado. De seguida, separam-se as faces medidoras do micrómetro o suficiente para conseguir colocar a amostra. Juntam-se novamente usando primeiro o regulador “grosso” e quando as faces estiverem unidas, usar o regulador mais sensível (fino), rodando-se lentamente, de forma a obter-se um valor estável e tendo atenção para que não se exerça força em demasia. Por fim, observa-se o valor de espessura apresentado no mostrador.

4.7. Medição do *Haze*

Ao aplicar-se um teste de *Haze*, verificam-se as propriedades de dispersão de luz em filmes plásticos, isto é, para materiais transparentes, *haze* (névoa em português) é a percentagem de luz transmitida que, ao passar pela amostra, se desvia do feixe incidente por espalhamento direto.

A medição do *Haze* efetua-se num equipamento como o que se pode observar na figura 4.8.



Figura 4.8 – Equipamento para medição do *Haze*

Para se efetuarem as medições de *Haze* é necessário selecionar o respetivo método no painel do equipamento, selecionando a opção “*Haze*”. De seguida, coloca-se a amostra no respetivo suporte de amostras que se encontra entre as lentes e encosta-se ao lado

direito, ou seja, à lente de leitura do *Haze*. Carrega-se no botão “operate” e lê-se o valor de *Haze* obtido.

Esta determinação foi efetuada segundo a norma ASTM D 1003-07.

4.8. Calorimetria diferencial de varrimento (DSC)

Através do método de calorimetria diferencial de varrimento (DSC) é possível obter as temperaturas em que os fenômenos térmicos acontecem e a sua natureza (endotérmicos ou exotérmicos), bem como, variações de entalpia. Visando a identificação dos materiais presentes nas estruturas dos filmes, estes são submetidos à análise de DSC, de forma a verificarem-se as temperaturas de fusão, de transição vítrea e de cristalização.

O equipamento utilizado é o Mettler Toledo DSC821 (Figura 4.9), cujas curvas de aquecimento para identificar a temperatura de fusão dos polímeros presentes no filme são geradas para uma faixa de aquecimento de 0 a 300°C a uma taxa de aquecimento de 10°C/min, sendo utilizado o azoto como gás de purga e arrefecidas à razão de 10°C/min até 25°C.



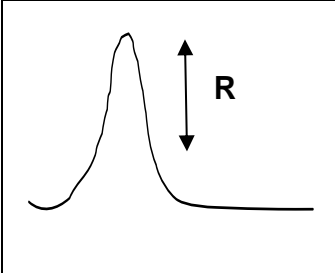
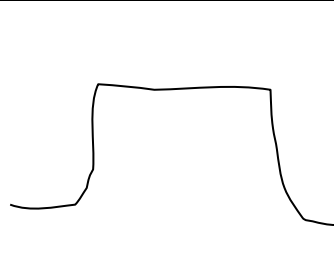
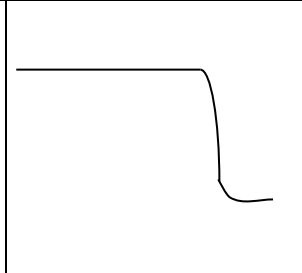

Figura 4.9 – Equipamento DSC

4.9. Medição da tensão de bobinado

A tensão de bobinado é medida pelos operadores das máquinas no momento em que as bobinas saem do bobinador e se preparam para seguir para o cliente. Mede-se em todas as encomendas de corte direto na extrusão que tenham bobinas com diâmetro superior ou igual a 600 mm e largura maior ou igual a 275 mm, para todos os clientes.

A bobine pode apresentar diferentes perfis, tais como os representados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Diferentes perfis de bobine

| Perfil A | Perfil B | Perfil C | Perfil D |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |

Qualquer que seja o perfil detetado na extrusão, a média da tensão de bobinado (T) tem de ser maior ou igual a 350 N/mm (retirando os valores máximo e mínimo) e, simultaneamente, a amplitude (R) tem de ser menor ou igual a 400 N/mm.

Para se realizar a verificação da tensão de bobinado é necessário utilizar um equipamento adequado para esse efeito.

Para iniciar o teste, coloca-se o êmbolo do equipamento na parte superior da bobine, para que este fique num ângulo de 90° em relação à bobine e assim fazer-se uma leitura correta (Figura 4.10). Posteriormente, apoia-se o êmbolo com uma mão e pressiona-se com a outra mão, de forma a evitar que o êmbolo se desloque e que influencie o resultado. Mede-se de 10 em 10 cm ao longo de toda a largura da bobine e a 1 cm de cada extremidade. Verifica-se se o registo da leitura está a ser efetuado pelo equipamento, e, no caso de existir alguma falha, repetir a medição.



Figura 4.10 – Colocação do êmbolo

5. Telescopia

A telescopia ocorre quando uma bobine não foi “enrolada” corretamente e cuja parede lateral se projeta para fora, aparentando a forma de telescópio (Figura 5.1), o que resulta em danos nas bordas do material e em problemas operacionais significativos no alinhamento das bobines ao desbobinar, detetando-se apenas quando a chegada da encomenda ao cliente.

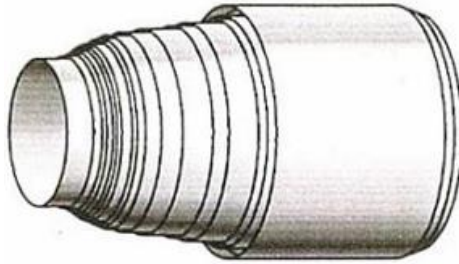


Figura 5.1 – Efeito de telescopia

Na figura 5.2 está representado o esquema de uma bobine com zonas bem bobinadas (verde escuro) e uma zona mal bobinada em que ocorreu telescopia (verde claro).

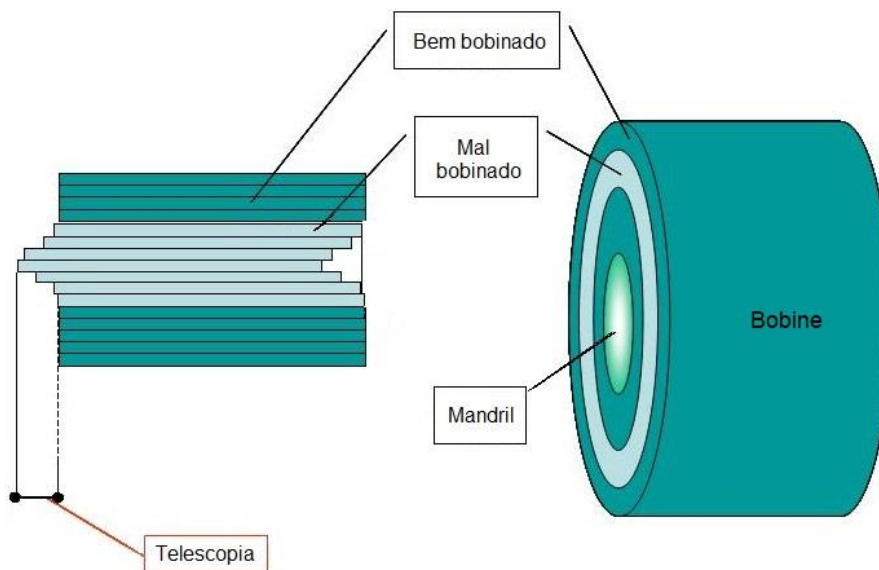


Figura 5.2 – Bobine com zona bem bobinada (verde escuro) e zona mal bobinada – telescopiada (verde claro)

5.1. Possíveis causas de ocorrência de telescopia

As possíveis causas de ocorrência de telescopia podem agrupar-se em três grupos de acordo com a zona onde podem acontecer as falhas que poderão originar a ocorrência de telescopia: processo, bobinador e cliente.

Processo:

- ✓ Variação de espessura: se a espessura do filme numa das extremidades da bobine for baixa, ao final de muitas voltas de enrolamento da bobine, forma zona mais mole nessa extremidade enquanto que na extremidade oposta, forma-se zona mais dura. Isto é possível verificar-se através dos valores de tensão de bobinado que dão mais baixos na extremidade mais mole e mais elevados na extremidade mais dura.

Caso a zona do calo (zona com um ligeiro aumento da espessura) se situe no meio da bobine, as extremidades estão equilibradas e a probabilidade de ocorrência de telescopia é baixa.

Em filmes de multicamadas (p. ex.: PET/PE), a variação de espessura do PE afeta a espessura final da bobine, mesmo que o filme de PET apresente uma espessura sempre constante. No final, tem-se uma bobine com baixa tensão de bobine, o que pode originar a ocorrência de telescopia.

Bobinador:

- ✓ Bobinagem: Durante a aceleração e desaceleração no processo de bobinagem, torques (sistema de forças que tendem a causar rotação) adicionais são impostos à bobine pelas forças de inércia. No início de uma bobine, essas forças são pequenas, logo, o seu efeito sobre o deslizamento das camadas é também pequeno. Durante a desaceleração, as forças de inércia são significativas, no entanto, tendem a neutralizar o torque de tensão, portanto, o deslizamento das camadas da bobine é improvável durante a desaceleração. Mudanças rápidas de velocidade durante a bobinagem, que podem ser introduzidas para pequenas correções, podem também aumentar a hipótese de ocorrência de telescopia.
- ✓ Diâmetro da bobine: A probabilidade de ocorrer telescopia aumenta à medida que o diâmetro da bobine também aumenta, de modo que a tendência para bobines maiores pode levar a um aumento na incidência de problemas de bobinagem. Bobines de maior diâmetro são mais vulneráveis ao deslizamento no final do “enrolamento” se a tensão do corpo não for gradualmente reduzida para manter um torque constante.

- ✓ Diâmetro do mandril: a variação do valor do diâmetro do mandril pode ser também considerada como uma possível causa da ocorrência de telescopia. Caso o valor seja inferior ou superior ao especificado, vai criar mais ou menos fricção no veio do bobinador. Ao criar mais fricção, a velocidade do veio vai ser menor, exercendo menor tensão ao bobinado. Enquanto que, ao criar menos fricção verifica-se o oposto ao referido anteriormente, a velocidade do veio do bobinador vai ser maior, exercendo maior tensão ao bobinado. A velocidade do veio é controlada automaticamente pelo bobinador através da injeção de maior ou menor quantidade de ar comprimido no veio.

- ✓ Acabamento do interior do mandril: o acabamento do interior do mandril pode ser mais liso ou mais rugoso. Sempre que o acabamento do interior do mandril seja mais liso, vai causar menos fricção entre o mandril e o veio do bobinador, criando, conseqüentemente, a tensão ideal ao bobinado de forma a minimizar a possibilidade de ocorrer telescopia.

- ✓ Rolo de contacto: a posição do rolo de contacto pode também influenciar a ocorrência de telescopia. Este pode estar mais ou menos afastado das bobines, provocando mais ou menos tensão ao bobinado. Ao provocar menor tensão ao bobinado, este fica mais mole e, posteriormente, a probabilidade de se suceder telescopia é elevada.

Cliente:

- ✓ Desbobinagem: a velocidade de desbobinagem poderá ser igualmente uma possível causa de ocorrência de telescopia. Atualmente, existe a necessidade de criar embalagens em massa, uma vez que o aumento da população assim o exige. De forma a colmatar essa necessidade, as empresas termoformadoras (principais clientes da Pentaplast, S.A.) aumentam a velocidade do seu processo. Ao elevarem a velocidade do processo de desbobinagem, a probabilidade de as bobines telescopiarem é igualmente elevada. Assim como, se a tensão de desbobinagem for maior do que a tensão de bobinagem, pode ocorrer o deslizamento do corpo da bobina (telescopia).

6. Resultados e discussão

Foram estudadas duas bobines devolvidas por um cliente da Pentaplast, S.A. devido à ocorrência de telescopia das mesmas. Foi medida a tensão de bobinado imediatamente antes e depois da zona telescopiada e retiradas amostras do material para medição de espessura.

Relativamente à tensão de bobinado, foram medidos quatro pontos ao longo da largura das bobines. A média de tensão de bobinado é calculada retirando-se os valores máximo e mínimo e a diferença entre estes é a amplitude. Tal como o mostrado na tabela 6.1, todos os valores de média de tensão de bobinado e respetiva amplitude encontram-se dentro dos limites admitidos pela Pentaplast, S.A., concluindo-se, assim, que a ocorrência de telescopia nestas bobines não foi devida à tensão de bobinado.

Cada valor medido ao longo da largura de ambas as bobines, está evidenciado no Anexo A.

Tabela 6.1 – Valores da média de tensão de bobinado (N/mm), amplitude e respetivos valores limite

| Bobine | Zona de telescopia | Média de tensão de bobinado (N/mm) | Amplitude (N/mm) | Limite da média de tensão de bobinado (N/mm) | Limite da amplitude (N/mm) |
|--------|--------------------|------------------------------------|------------------|--|----------------------------|
| 1 | Antes | 578 | 111 | ≥ 350 | ≤ 400 |
| | Depois | 587 | 188 | | |
| 2 | Antes | 633 | 67 | | |
| | Depois | 559 | 132 | | |

A espessura requerida pelo cliente foi de 0,280 mm, todavia este tolerava um mínimo de 0,266 mm e um máximo de 0,294 mm. Após a medição da espessura ao longo da largura de ambas as bobines, apenas um valor da bobine 1, medido imediatamente depois da zona telescopiada (ponto número 2 da figura 6.1) ficou acima do valor máximo admitido pelo cliente. Os restantes valores encontravam-se dentro do intervalo permitido, tal como o observado nas figuras 6.1 e 6.2. Ao ler-se um valor mais elevado de espessura no lado esquerdo do filme, levaria a que o efeito de telescopia ocorresse para o lado oposto, facto que realmente se verificou. Contudo, esse ponto foi medido depois da zona telescopiada e não antes da zona telescopiada tal como faria sentido, concluindo-se, assim, que a variação de espessura do filme não foi um fator contribuinte para a ocorrência de telescopia.

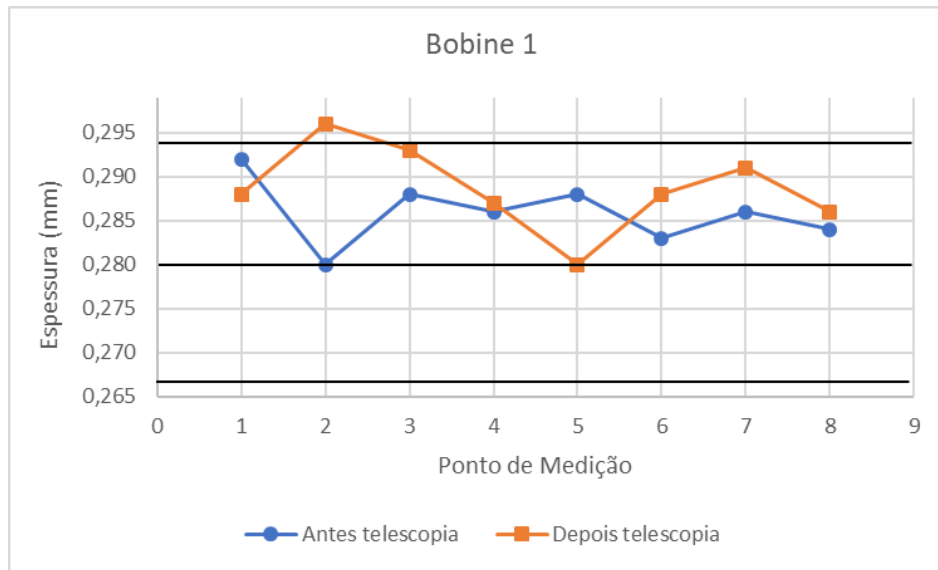


Figura 6.1 – Representação gráfica da espessura do filme (mm) ao longo da largura da bobine 1, imediatamente antes (—●—) e depois (—■—) da zona telescopiada

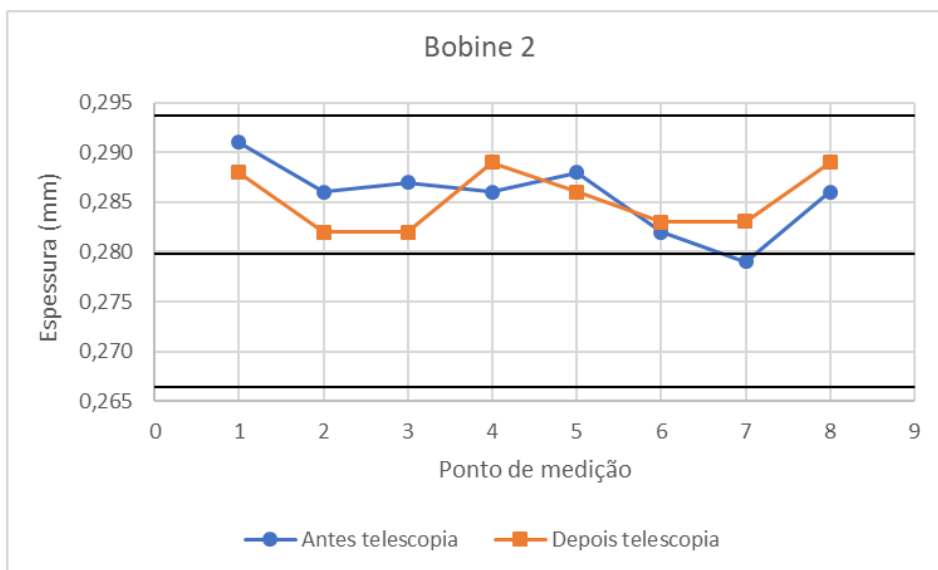


Figura 6.2 – Representação gráfica da espessura do filme (mm) ao longo da largura da bobine 2, imediatamente antes (—●—) e depois (—■—) da zona telescopiada

Em paralelo às duas bobines telescopiadas estudadas, foram analisadas as reclamações de telescopia no período de janeiro a maio de 2018 (Figura 6.3) e escolhidos os três clientes com maior número de reclamações – Cliente 1, Cliente 2 e Cliente 3.

Os filmes produzidos para os três clientes com mais reclamações tinham em comum: o mercado para o qual se destinam (alimentar), o método de transformação (extrusão com laminação *Inline*), o diâmetro do mandril, o uso de matéria-prima reciclada, a quantidade de agente anti-bloqueio, a superfície (brilhante com rugosidade inferior a 1 μm) e a cor

(transparente). Todos eram filmes combinados de PET com PE, diferenciando-se, apenas, na espessura do filme de PE, na espessura total e largura do filme.

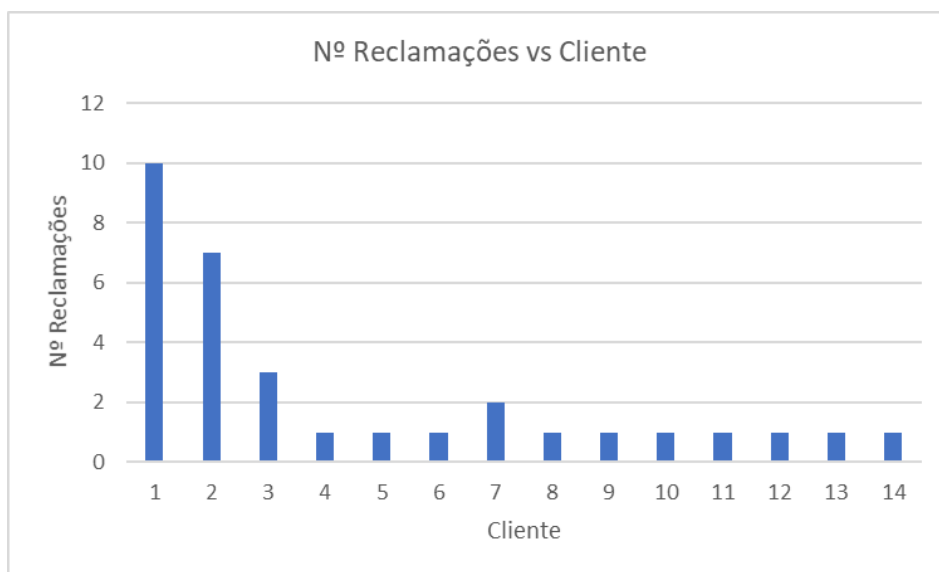


Figura 6.3 – Representação gráfica do número de reclamações por cliente

Após a observação dos três clientes com maior número de reclamações, decidiu-se averiguar quais os materiais com maior número de reclamações. Pela análise da figura 6.4, é possível verificar que são os materiais A e B que se destacam com grande disparidade dos restantes materiais, com um número de 10 e 15 em 32 reclamações, respetivamente. Comparando as encomendas feitas pelos Clientes 1, 2 e 3, verificou-se que correspondem aos materiais mais reclamados. Apenas para o Cliente 1, o material requerido foi o Material A e para os Clientes 2 e 3, o material pedido foi o Material B.

Analisando somente o Material A, apenas um dos catorze clientes que fizeram a sua reclamação à Pentaplast, S.A., isto é, apenas 7 % dos clientes requisitaram o respetivo material.

Quanto ao Material B (Figura 6.5), seis dos catorze clientes que fizeram a sua reclamação à Pentaplast, S.A. – quase 50 % – requisitaram o Material B, o que leva a concluir que este é um material ao qual se deve ter especial atenção durante o seu processo de fabrico e durante o seu processo de bobinagem, de forma a garantir que todos os parâmetros estão a ser respeitados e, assim, diminuir a ocorrência de telescopia.

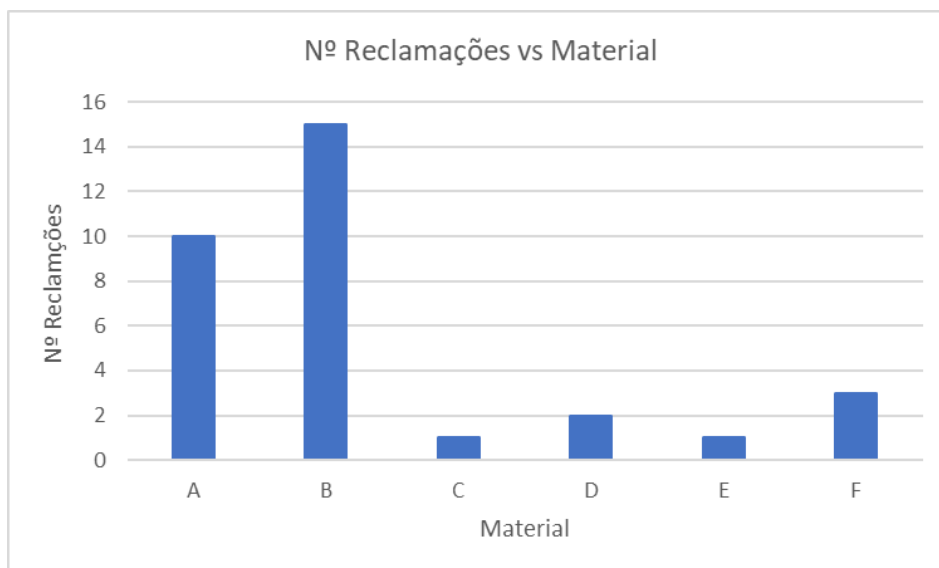


Figura 6.4 – Representação gráfica do número de reclamações por material

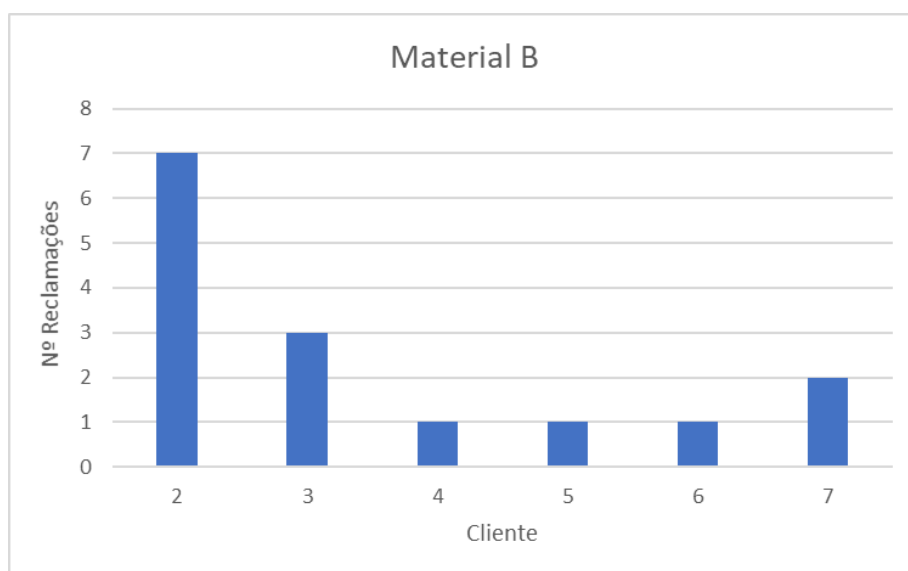


Figura 6.5 – Representação gráfica do número de reclamações por cliente, apenas para o Material B

Para os três clientes com maior número de reclamações, identificaram-se as encomendas que, no mesmo período de janeiro a maio de 2018, não levaram a reclamações de telescopia. Dessas escolheram-se as encomendas com especificações análogas às que levaram a reclamações de telescopia e determinou-se a percentagem de reclamações, fazendo o quociente entre o número de reclamações e o número de encomendas para cada um dos três clientes.

Na figura 6.6, observa-se a percentagem de reclamações por cliente, verificando-se uma margem significativa entre o Cliente 2, com 41 % de reclamações, e os restantes

Cliente 1 e Cliente 3, com 17 % e 14 % de reclamações, respectivamente. Faz-se novamente a referência de que o Cliente 1 requereu o Material A e os Clientes 2 e 3 solicitaram o Material B. Conclui-se, assim, que as bobines que seguirão para o Cliente 2 compostas pelo Material B deverão ser acompanhadas com um maior cuidado e atenção. Poder-se-á também concluir que o próprio Cliente 2 deverá manusear e desbobinar as respectivas bobines com maior delicadeza, menor velocidade e menor tensão, uma vez que caso a tensão de desbobinagem for maior do que a tensão de bobinagem, aumenta-se a probabilidade de ocorrer telescopia.

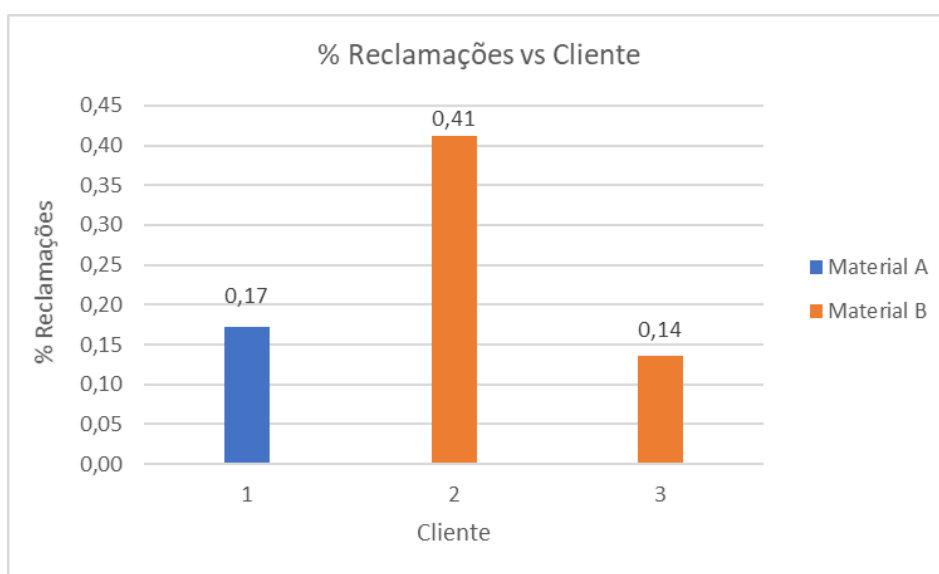


Figura 6.6 – Representação gráfica da percentagem de reclamações pelos Clientes 1, 2 e 3

Do mesmo modo que se determinou a percentagem de reclamações por cliente, estudou-se a influência das dimensões do filme de cada material (A e B), sendo a espessura o ponto fulcral. Para isso, examinaram-se as dimensões espessura–largura para cada material que levaram a reclamações de telescopia por parte dos Clientes 1, 2 e 3. Relativamente ao Material A (Cliente 1), quatro dimensões levaram a que ocorresse telescopia: 0,240–420 mm, 0,300–620 mm, 0,340–620 mm e 0,390–620 mm. Quanto ao Material B (Clientes 2 e 3) também foram quatro as dimensões que conduziram ao aparecimento de telescopia: 0,250–422 mm, 0,250–512 mm, 0,320–422 mm e 0,320–512 mm. É importante salientar que no Cliente 3 apenas uma dimensão de bobines (0,320–422 mm) foi reclamada devido ao problema de telescopia. De acordo com estas especificações, identificaram-se as encomendas que, no mesmo período de janeiro a maio de 2018, não levaram a reclamações de telescopia. Determinou-se a percentagem de reclamações segundo a espessura–largura, fazendo o quociente entre o número de reclamações com essas dimensões e o número de encomendas análogas para cada um dos três clientes.

Analisando a figura 6.7, em relação ao Material A, observa-se que a espessura de filme mais baixa (0,240–420 mm) levou a uma maior percentagem de erro por telescopia, 33 %, em comparação com as restantes dimensões.

Relativamente ao Material B, analisando a figura 6.8, nomeadamente os valores de espessura que correspondem às encomendas realizadas pelo Cliente 2, verifica-se que, analogamente ao observado no Material A, é a espessura de filme mais baixa (0,250–422 mm) que conduziu a uma maior percentagem reclamada, 60 %, em comparação com as restantes dimensões. Filmes com espessura mais fina são mais leves, não requerem tanta força para serem desbobinados, logo a tensão necessária para o processo de desbobinagem é, conseqüentemente, menor. Os clientes da Pentaplast, S.A. deverão ajustar esse valor de tensão para cada encomenda.

Conclui-se, então, que filmes de espessura mais fina aumentam a eventualidade de ocorrer telescopia.

Uma vez que de todas as encomendas realizadas pelo Cliente 3, apenas uma dimensão de bobines (0,320–422 mm) foi reclamada devido ao problema de telescopia, este deverá controlar os parâmetros do seu processo de desbobinagem, em particular a velocidade e a tensão ao desbobinar. Também a Pentaplast, S.A. deverá tomar atenção a encomendas com estas especificações para este cliente.

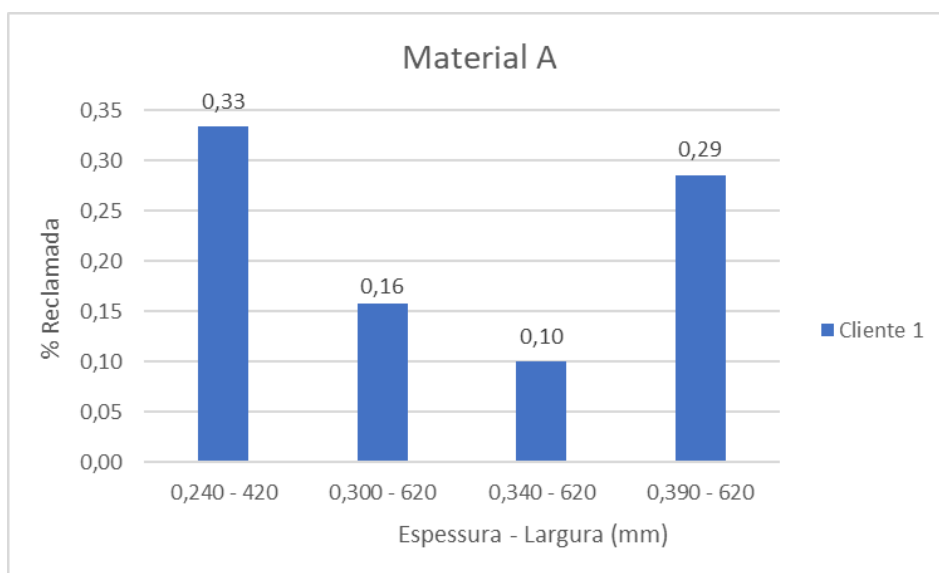


Figura 6.7 – Representação gráfica da percentagem reclamada pelo Cliente 1 em função da Espessura – Largura (mm) do filme composto pelo Material A

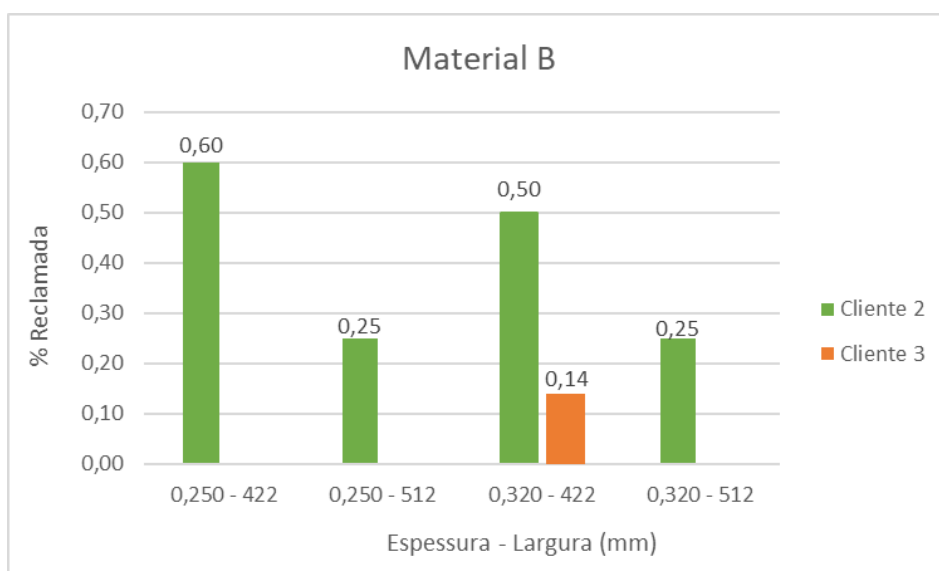


Figura 6.8 – Representação gráfcica da porcentagem reclamada pelos Clientes 2 e 3 em função da Espessura – Largura (mm) do filme composto pelo Material B

O número de reclamações e o número de encomendas que não conduziram a reclamações por ocorrência de telescopia por cliente, material, espessura e largura das bobines estão enunciados no Anexo B.

7. Conclusões

A fim de estudar um conjunto de influências de telescopia de modo a minimizar a ocorrência desse problema no cliente, neste trabalho foram estudadas duas bobines devolvidas por um cliente da Pentaplast, S.A. devido à ocorrência de telescopia das mesmas. Tanto os valores da média de tensão de bobinado como os valores de espessura do filme encontravam-se dentro dos limites admitidos, concluindo-se que a ocorrência de telescopia naquelas bobines não foi devida a esses dois fatores.

Foram também analisadas as reclamações de telescopia no período de janeiro a maio de 2018 e observados os três clientes com maior número de reclamações – Cliente 1, Cliente 2 e Cliente 3. Ao estudarem-se os materiais com maior número de reclamações, concluiu-se que os materiais A e B deverão ser seguidos com especial atenção durante o seu processo de fabrico e durante o seu processo de bobinagem. Chegou-se também à conclusão de que o Cliente 2 deverá desbobinar as bobines com maior delicadeza, menor velocidade e menor tensão.

Por último, após a análise do efeito da espessura e largura das bobines por material, relativamente ao material A, a espessura–largura de 0,240–420 mm foi a mais reclamada (33 %) pelo Cliente 1, enquanto que no material B, foi a espessura–largura de 0,250–422 mm (60 %), que levou a uma maior afluência de reclamações por parte do Cliente 2. Concluiu-se, assim, que filmes de espessura mais fina têm maior tendência para telescopiar. A observação de que o Cliente 3 apenas reclamou uma dimensão de bobines (0,320–422 mm) levou a concluir que este deverá controlar a velocidade e a tensão do seu processo de desbobinagem, assim como, a Pentaplast, S.A. deverá tomar maior atenção a encomendas com aquelas especificações para este cliente.

Posto isto, como trabalho futuro sugere-se dar continuidade ao estudo da telescopia, recolhendo e analisando de forma pormenorizada as diversas variáveis do processo produtivo e compará-las com a ocorrência de telescopia.

Bibliografia

[1] Klöckner Pentaplast.

https://www.kpfilms.com/en/About_us/Company_History.php (acedido a 10 de maio de 2018).

[2] Manual de Acolhimento, 2017. Documento fornecido pela Klöckner Pentaplast.

[3] Dicionário infopédia da Língua Portuguesa. Porto Editora, 2003-2018.

<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/polímero> (acedido a 19 de maio de 2018).

[4] Ferreira, J, 2014. *Desenvolvimento do Filme Plástico – Paper Like*. Tese de Mestrado em Engenharia Química. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

[5] Letras, M, 2008. *Reciclagem de Plásticos: Identificação de contaminantes e estratégias de valorização dos resíduos industriais*. Tese de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

[6] Guimarães, P, 2016. *Caracterização de embalagens PET com aditivos absorvedores de raios UV*. Tese de Mestrado em Ciência em Engenharia dos Materiais. Universidade Federal de Alfenas.

[7] Santos, L, 2009. *Avaliação da Eficiência da Separação de Plásticos de Resíduos Sólidos Urbanos por Métodos de Dissolução Selectiva*. Tese de Mestrado em Processamento e Caracterização de Materiais. Escola de Engenharia da Universidade do Minho.

[8] Politereftalato de etileno (PET).

<http://www.tudosobreplasticos.com/materiais/pet.asp> (acedido a 8 de setembro de 2018).

[9] Polyethylene Terephthalate Polyester (PET, PETP) - Properties and Applications.

<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2047> (acedido a 8 de setembro de 2018).

[10] Propriedades Poliméricas do PET.

<http://luizmeira.com/dados/recicla/propriedadespet.htm> (acedido a 8 de setembro de 2018).

[11] Parente, R, 2006. *Elementos Estruturais de Plástico Reciclado*. Tese de Mestrado em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

[12] Crippa, A, 2006. *Estudo do Desempenho de Filmes Multicamadas em Embalagens Termoformadas*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Paraná.

[13] Andrady, Anthony. 2003. *Plastics and the environment*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-09520-6 (versão pdf do documento descarregada em 17 de junho de 2018).

[14] Harper, Charles e Petrie, Edward. 2003. *Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. ISBN 0-471-09520-6 (versão pdf do documento descarregada em 21 de junho de 2018).

[15] Coutinho, F, Mello, I e Santa Maria, L, 2003. *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações*.

[16] Piva, A, 2014. *Caracterização de aditivos em filmes flexíveis de polietileno*. Tese de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade do Extremo Sul Catarinense.

[17] Transformação: Como evitar erros na cor.

<https://www.plastico.com.br/transformacao-como-evitar-erros-na-cor/> (acedido a 10 de setembro de 2018).

[18] Mealey, Shawn. Five Myths About Silicone-based Additives for Plastics: Busted! (versão pdf do documento descarregada em 10 de setembro de 2018).

[19] John, V.B. e Rubroeder, H. Silicone masterbatch additives for improved plastics processing (versão pdf do documento descarregada em 10 de setembro de 2018).

[20] Plásticos – Tendências e Perspetivas.

<https://reviplast.wordpress.com/2016/07/04/plsticos-tendncias-e-perspetivas/> (acedido a 12 de setembro de 2018).

[21] Plastics Europe. *Plastics – the Facts 2017* (versão pdf do documento descarregada em 12 de setembro de 2018).

[22] Mecânica de Fabricação: Conceitos, Elementos e Processos.

<http://mecanicadefabricao.blogspot.com/2015/10/extrusao-plastica.html> (acedido a 12 de julho de 2018).

[23] Encyclopedia of Engineering.

<http://www.mechscience.com/production-of-sheet-and-film/> (acedido a 12 de julho de 2018).

Anexos

Anexo A – Bobines devolvidas por telescopia

Na tabela A.1 apresentam-se os valores de tensão de bobinado medidos ao longo da largura das bobines estudadas 1 e 2, imediatamente antes e depois da zona telescopiada, assim como a média de tensão de bobinado (excluindo os valores máximo e mínimo) e a amplitude.

Tabela A.1 – Valores de tensão de bobinado (N/mm) e respetivas média e amplitude

| Bobine | Zona de telescopia | Tensão de bobinado (N/mm) | | | | Média de tensão de bobinado (N/mm) | Amplitude |
|--------|--------------------|---------------------------|-----|-----|-----|------------------------------------|-----------|
| | | | | | | | |
| 1 | Antes | 609 | 498 | 599 | 557 | 578 | 111 |
| | Depois | 572 | 471 | 602 | 659 | 587 | 188 |
| 2 | Antes | 645 | 620 | 658 | 591 | 633 | 67 |
| | Depois | 514 | 490 | 622 | 603 | 559 | 132 |

Na tabela A.2 apresentam-se os valores de espessura medidos ao longo da largura das bobines estudadas 1 e 2, imediatamente antes e depois da zona telescopiada.

Tabela A.2 – Valores de espessura (mm) medidos antes e depois da zona telescopiada

| Bobine | Zona de telescopia | Espessura (mm) | | | | | | | |
|--------|--------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | | |
| 1 | Antes | 0,291 | 0,286 | 0,287 | 0,286 | 0,288 | 0,282 | 0,279 | 0,286 |
| | Depois | 0,288 | 0,282 | 0,282 | 0,289 | 0,286 | 0,283 | 0,283 | 0,289 |
| 2 | Antes | 0,292 | 0,280 | 0,288 | 0,286 | 0,288 | 0,283 | 0,286 | 0,284 |
| | Depois | 0,288 | 0,296 | 0,293 | 0,287 | 0,280 | 0,288 | 0,291 | 0,286 |

Anexo B – Reclamações por telescopia

Na tabela B.1 apresentam-se o número de reclamações e o número de encomendas que não levaram a reclamações de acordo com o cliente, material, espessura e largura das bobines.

Tabela B.1 – Nº Reclamações e nº encomendas sem reclamação de acordo com o cliente, material, espessura e largura das bobines

| | Material | Espessura (mm) | Largura (mm) | Nº Reclamações | Nº Encomendas sem reclamação |
|------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|---|
| Cliente 1 | Material A | 0,240 | 420 | 1 | 3 |
| | | 0,300 | 620 | 6 | 38 |
| | | 0,340 | 620 | 1 | 10 |
| | | 0,390 | 620 | 2 | 7 |
| Cliente 2 | Material B | 0,250 | 422 | 3 | 5 |
| | | 0,250 | 512 | 1 | 4 |
| | | 0,320 | 422 | 2 | 4 |
| | | 0,320 | 512 | 1 | 4 |
| Cliente 3 | Material B | 0,320 | 422 | 3 | 22 |