

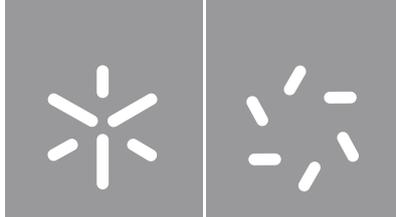


**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Marta Oliveira Lima

## **Caraterização de filme BOPP comercial**





**Universidade do Minho**  
Escola de Ciências

Marta Oliveira Lima

## **Caraterização de filme BOPP comercial**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química

Trabalho efetuado sob a orientação do  
**Professor Doutor António Maurício Costa Fonseca**  
e da  
**Doutora Natália Pimenta Pereira**

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

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

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

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

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição  
CC BY**

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

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho só foi possível com a participação e apoio de algumas pessoas. Desta forma desejo manifestar a minha gratidão a todos aqueles que me possibilitaram concretizar esta dissertação, nomeadamente:

Em primeiro lugar à Universidade do Minho por me proporcionar o Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química.

Aos meus orientadores, Doutora Natália Pimenta Pereira e ao Professor Doutor António Maurício Costa Fonseca, pela orientação do estágio, paciência, compreensão e disponibilidade.

À empresa Poligal, por me ter dado a oportunidade de realizar esta dissertação.

À professora Doutora Gabriela Botelho e ao professor Doutor Michael John Smith pela disponibilidade e apoio.

Por fim, às pessoas que me deram apoio incondicional, a minha colega de trabalho, Sylvie Machado, a minha família e especialmente o meu namorado Moisés Rodrigues, por me ter impulsionado e ajudado nesta fase da minha vida.

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

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

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

## Caraterização de filme BOPP comercial

### RESUMO

O presente trabalho de experiência profissional ocorreu em ambiente industrial, descrevendo passo a passo os procedimentos de controlo de qualidade do filme BOPP (*Biaxially Oriented PolyPropylene*) na empresa Poligal, fornecedora de filmes BOPP, CPP (*cast* polipropileno) e metalizados para distintas áreas de aplicação e para todo o globo.

O processo de produção do filme BOPP consiste num estiramento plano biaxial, ou seja, o filme é orientado/estirado nas direções longitudinal e transversal. Este é um processo sequencial em que se inicia com a matéria prima, polipropileno granulado, que sofre múltiplos estiramentos, aquecimentos e arrefecimentos ao longo da sequência, finalizando-se com uma película de polipropileno bobinada com todas as caraterísticas que o filme BOPP deve apresentar. Este processo está dividido em distintas secções: silos, extrusão, *chill roll*, MDO (*Machine Direction Orientation*), TDO (*Transverse Direction Orientation*), *pull roll* e *winder*, em que o filme sofre alterações em cada segmento, aproximando-se do produto final.

Esta dissertação tem como principal objeto a caraterização de um filme BOPP comercial segundo os procedimentos de controlo de qualidade da Poligal. Após a caraterização do filme comercial com distintos ensaios, compilaram-se os resultados obtidos de modo a identificar o tipo de filme BOPP, de acordo com os filmes que a empresa dispõe, e por fim compararam-se as especificações da ficha de dados técnicos (TDS, *technical data sheet*) para o filme selecionado, com os resultados obtidos do filme comercial.

Por fim, foi possível concluir que o filme BOPP comercial tem as características dos filmes para embalagem flexíveis CATE 30 SOL, em que para os procedimentos: espessura, nível de tratamento, propriedades mecânicas, retração, resistência à selagem térmica, temperatura de início de selagem e coeficiente de atrito, há coerência de resultados com o especificado na TDS, exceto os ensaios de opacidade/*haze* e brilho. Para estas propriedades, a especificação da TDS é para plástico virgens/não manipulados sendo que o filme comercial além de manipulado já se encontrava como embalagem interna envolvendo a “bolacha Maria” da marca Continente.

**Palavras-Chave:** BOPP; filme comercial; polipropileno

## **Commercial BOPP film characterization**

### **ABSTRACT**

The present work of professional experience took place in an industrial environment, describing step by step the quality control procedures of BOPP (Biaxially Oriented PolyPropylene) film in the company Poligal, supplier of BOPP, CPP (cast polypropylene) and metallized films for different application for the entire globe.

The BOPP film production process consists of a biaxial plane stretching, that is, the film is oriented/stretched in the longitudinal and transverse directions. This is a sequential process that starts with the raw material, granulated polypropylene, which undergoes multiple stretching, heating and cooling throughout the sequence, ending with a polypropylene film wound with all the characteristics that BOPP film must present. This process is divided into different sections: silos, extrusion, chill roll, MDO (Machine Direction Orientation), TDO (Transverse Direction Orientation), pull roll and winder, in which the film undergoes changes in each segment, approaching the final product.

This dissertation has as main object the characterization of a commercial BOPP film according to Poligal's quality control procedures. After characterizing the commercial film with different tests, the results obtained were compiled in order to identify the type of BOPP film, according to the films that the company has, and finally the specifications of the technical data sheet were compared (TDS, technical data sheet) for the selected film, with the results obtained from the commercial film.

Finally, it was possible to conclude that the commercial BOPP film has the characteristics of CATE 30 SOL flexible packaging films, in which for procedures: thickness, treatment level, mechanical properties, shrinkage, resistance to thermal sealing, temperature of beginning of sealing and friction coefficient, the results are consistent with those specified in the TDS, except for the opacity/haze and gloss tests. For these properties, the TDS specification is for virgin/non-handled plastic, and the commercial film, in addition to being handled, was already found as an internal packaging involving "Maria cookie" from the Continente brand.

**Keywords:** BOPP; commercial film; polypropylene

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Declaração de Integridade.....	iv
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice.....	vii
Lista de figuras.....	ix
Lista de tabelas.....	x
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos.....	xi
Capítulo 1 - Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Conteúdo da dissertação.....	3
Capítulo 2 – Revisão bibliográfica.....	4
2.1 Importância do plástico.....	5
2.2 Produção do filme BOPP.....	6
2.3 Constituição e caraterísticas do filme BOPP.....	15
Capítulo 3 – Procedimento experimental.....	17
3.1 Amostragem.....	18
3.2 Procedimento experimental.....	19
3.2.1 Espessura.....	19
3.2.2 Nível de tratamento.....	20
3.2.3 Opacidade/ <i>haze</i> .....	21
3.2.4 Brilho.....	22
3.2.5 Propriedades mecânicas.....	23
3.2.6 Retração.....	24
3.2.7 Resistência à selagem térmica.....	25
3.2.8 Temperatura de início de selagem.....	26
3.2.9 Coeficiente de atrito.....	27
Capítulo 4 – Apresentação e discussão de resultados.....	28
4.1 Apresentação de resultados.....	29

4.1.1 Espessura.....	29
4.1.2 Nível de tratamento.....	30
4.1.3 Opacidade/ <i>haze</i> .....	30
4.1.4 Brilho.....	31
4.1.5 Propriedades mecânicas.....	32
4.1.6 Retração.....	34
4.1.7 Resistência à selagem térmica.....	35
4.1.8 Temperatura de início de selagem.....	37
4.1.9 Coeficiente de atrito.....	38
4.2 Avaliação do filme comercial.....	39
Capítulo 5 – Conclusão.....	42
Bibliografia.....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação esquemática da linha BOPP; 1–Silos; 2–Extrusão; 3– <i>Chill Roll</i> ; 4–MDO; 5–TDO; 6– <i>Pull Roll</i> ; 7– <i>Winder</i> [6].....	6
Figura 2: Representação esquemática de uma extrusora do processo de produção de BOPP [15].....	8
Figura 3: Entrada da laminadora/ <i>Die</i> de três camadas/capas [7].....	8
Figura 4: Representação esquemática do <i>chill roll</i> . 1- <i>Die</i> ; 2-bicos de ar; 3- faca de ar; 4- <i>cast film</i> ; 5-reservatório de água; 6- <i>chill roll</i> [16].....	9
Figura 5: Representação esquemática do MDO [7].....	10
Figura 6: Representação esquemática do TDO [7].....	11
Figura 7: Representação esquemática da zona do <i>Pull Roll</i> . Adaptado de [7] .....	12
Figura 8: Representação esquemática da aplicação do tratamento corona [17]. .....	13
Figura 9: Representação esquemática da <i>Winder</i> . Adaptado de [19].....	14
Figura 10: Polimerização do PP [20].....	15
Figura 11: Esquema da constituição do filme BOPP e camadas [16]. .....	16
Figura 12: Imagem da esquerda: <i>pack</i> bolacha Maria marca Continente; Imagem da direita: pacote individual do conjunto de 4 do <i>pack</i> . .....	18
Figura 13: Palpador ( <i>Mahr Millimar C 1210</i> ).....	19
Figura 14: Conjunto de tintas com distintos níveis de tratamento.....	20
Figura 15: Representação esquemática do efeito de dispersão da luz para a propriedade opacidade/haze. ....	21
Figura 16: EEL 57D <i>Hazemeter</i> . .....	21
Figura 17: Representação esquemática do efeito de reflexão da luz para a propriedade brilho. ....	22
Figura 18: Brilhômetro ( <i>Micro-gloss 45°</i> ). .....	22
Figura 19: <i>Instron</i> modelo 3343. ....	23
Figura 20: Seladora ( <i>Brugger D-80335 Munchen</i> ) .....	25
Figura 21: Medidor de COF ( <i>RDM Test Equipment CF-800XS</i> ).....	27
Figura 22: TDS para filme BOPP CATE SOL da empresa Poligal. [16].....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de espessura do filme BOPP comercial.....	29
Tabela 2: Resultados de opacidade/ <i>haze</i> do filme BOPP comercial.....	30
Tabela 3: Resultados de brilho CT/CNT do filme BOPP comercial.....	31
Tabela 4: Resultados das propriedades mecânicas em MD do filme BOPP comercial.....	32
Tabela 5: Resultados das propriedades mecânicas em TD do filme BOPP comercial.....	33
Tabela 6: Resultados das distâncias iniciais e finais em MD do filme BOPP comercial.....	34
Tabela 7: Resultados das distâncias iniciais e finais em TD do filme BOPP comercial.....	37
Tabela 8: Resultados da resistência à selagem térmica para a CT do filme BOPP comercial.....	35
Tabela 9: Resultados da resistência à selagem térmica para a CNT do filme BOPP comercial.....	36
Tabela 10: Resultados da resistência à selagem térmica para a CNT a distintas temperaturas do filme BOPP comercial.....	37
Tabela 11: Resultados do coeficiente de atrito do filme BOPP comercial.....	38
Tabela 12: Resultados obtidos para o filme comercial e especificação da TDS para os ensaios de opacidade/ <i>haze</i> e brilho.....	40
Tabela 13: Propriedades mecânicas: resultados obtidos para o filme comercial e especificação da TDS.....	40

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

ASTM – *American Society for Testing and Materials* (Sociedade Americana de Testes e Materiais)

BOPP - *Biaxially Oriented PolyPropylene* (Polipropileno Biaxialmente Orientado)

CNT – Cara Não Tratada

COF – Coeficiente de atrito

CPP – *Cast* polipropileno

CT – Cara Tratada

DIN – *Deutsches Institut für Normung* (Instituto Alemão de Normalização)

ISO – *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização)

ITL – Instrução Técnica do Laboratório

MD – Sentido longitudinal ou máquina

MDO – *Machine Direction Orientation* (Orientação da Direção da Máquina)

PP – Polipropileno

TD – Sentido transversal

TDO – *Transverse Direction Orientation* (Orientação da Direção Transversal)

TDS – *Technical Data Sheet* (Folha de Dados Técnicos)

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 ENQUADRAMENTO**

Os plásticos tornaram-se essenciais no quotidiano da população dada a sua facilidade de produção e versatilidade de aplicação. Dentro da variedade de produtos plásticos evidenciam-se as embalagens que têm como principais funções assegurar a conservação e qualidade dos produtos, e por isso este setor apresenta maior competição na sua produção, com o esforço de criar novos produtos com propriedades melhoradas.

Para a necessidade de melhoria das propriedades das embalagens e da otimização do seu desempenho, deve ser levado em conta a escolha das matérias-primas a processar e as condições de processamento, exigindo às empresas uma maior eficácia nos seus processos de produção de modo a serem mais competitivas num mercado que se tem tornado cada vez mais exigente. Devido a este facto, torna-se importante o estabelecimento de padrões de qualidade para o produto final, pois só assim o cliente poderá encontrar com facilidade uma solução eficaz e de baixo custo.

Das soluções já existentes, destaca-se o processo de coextrusão que consiste na combinação de materiais poliméricos em simultâneo, produzidos em extrusoras distintas unindo-se num só produto final. Com base neste processo produzem-se produtos multicamada, sendo possível salvaguardar a existência de camadas paralelas de materiais distintos. Esta tecnologia possibilita assim o aumento das especificações dos produtos e/ou a diminuição do seu custo, uma vez que a utilização de um polímero de elevado desempenho (e custo) pode agora ser substituído pela combinação de diversos polímeros que, no seu todo, satisfazem as especificações (e baixam o custo, pois os polímeros mais caros são agora aplicados em menores quantidades).

## **1.2 OBJETIVOS**

Com esta dissertação pretende-se a aquisição de competências sobre o controlo de qualidade laboratorial da Poligal, no entanto tem como principal objetivo caracterizar um filme BOPP comercial e apresentar o funcionamento do processo de produção de filme de polipropileno biorientado.

Numa primeira abordagem será caracterizado um filme comercial, previamente selecionado, de acordo com os parâmetros de controlo da qualidade da empresa, ou seja, são realizados distintos ensaios de maneira a identificar as propriedades do filme. Após a realização dos ensaios, que constituem os parâmetros de controlo de qualidade, os resultados obtidos serão comparados com os

filmes que a empresa dispõe de modo a identificar o tipo de filme e por fim, comparam-se as especificações da ficha de dados técnicos (TDS) para o filme selecionado, com os resultados obtidos do filme comercial, de modo a obter uma confirmação do tipo de filme produzido.

### **1.3 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO**

No capítulo 1 apresenta-se o enquadramento e objetivos deste trabalho.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica da importância do plástico e do processo de produção do filme de polipropileno biorientado, a sua constituição e características.

No capítulo 3 é apresentado o filme comercial selecionado e os procedimentos experimentais utilizados para a caracterização deste.

A apresentação e discussão de resultados é o capítulo seguinte, 4, onde são apresentados os resultados obtidos nos estudos laboratoriais efetuados e a análise dos mesmos.

Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado.

## **CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

## 2.1 Importância do plástico

Devido às suas propriedades e características a aplicação do plástico abrange diversas áreas desde construção civil, agricultura, moda, eletrônica, transportes, saúde, telecomunicações, entre outras. A versatilidade deste material permite que este esteja presente no cotidiano da sociedade moderna [1-3].

Para além dos campos de aplicação acima descritos a indústria alimentar também beneficia do plástico, mais concretamente do filme que pode ser utilizado no embalamento de produtos alimentares, sendo que, dependendo das características do produto a ser embalado, podemos ter distintos plásticos de constituições diferentes [4].

Dos múltiplos benefícios que o plástico desempenha no embalamento de alimentos é o aumento do *shelf-life* (tempo de vida útil) de um produto, promovendo melhor qualidade ao produto, controlando a temperatura de exposição, humidade e luz, contribuindo para um desperdício alimentar menor. Para além do aumento do *shelf-life*, o plástico também promove a praticidade na área alimentar, permitindo a fácil abertura e fecho das embalagens ou então a capacidade de confeção dos alimentos nas próprias embalagens [4].

À exceção destas características enquanto embalagem, os plásticos também são: leves devido à sua baixa densidade, flexíveis, resistentes ao impacto, higiénicos e assépticos, resistentes à corrosão, isolantes elétricos e térmicos e, não menos importante, recicláveis. Algumas destas características, são comuns a outros materiais tais como o vidro e o metal, no entanto, o plástico apresenta vantagens relativamente a estes dois no se refere ao custo ambiental para a sua produção, desde o baixo consumo de energia, baixo consumo de água, baixo nível em emissões de gases com efeito de estufa, baixo peso global dos resíduos sólidos urbanos, entre outros. Relativamente à matéria-prima para cada um destes produtos, para o plástico é o petróleo e o gás natural, o vidro tem origem na areia proveniente de rios e lagos e por último, o metal que pode ser ferro, cobre, alumínio, etc. [1-4].

Além da comparação do metal e vidro com o plástico no que se refere a custo ambiental e matéria-prima, as propriedades do plástico são superiores a nível de barreira ao oxigénio, proteção contra microrganismos, brilho e transparência, facilidade de processamento e custo compatível [4, 5].

Contudo, para se decompor o plástico precisa mais de 450 anos no ambiente ou então, 1000 anos num aterro sanitário, sendo que pode contaminar ar, solos e oceanos ao tornar-se microplástico. Para agregar o melhor deste material tão versátil é importante que seja feita a correta reciclagem [1-4].

## 2.2 Produção do filme BOPP

O processo de produção BOPP consiste num estiramento plano em duas fases ou biaxial. A denominação biaxial deve-se ao facto de que o filme é orientado em duas direções, direção da máquina (longitudinal) e direção transversal [6].

Este processo está separado em distintas secções ao longo da linha de produção [7-13].

Na figura 1 estão esquematizadas as principais secções da linha de produção de BOPP, cujas funções serão explicadas de seguida.

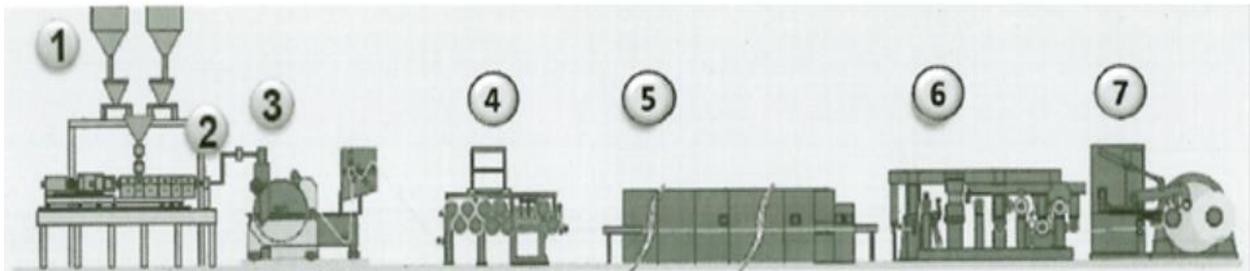


Figura 1: Representação esquemática da linha BOPP; 1–Silos; 2–Extrusão; 3–Chill Roll; 4–MDO; 5–TDO; 6–Pull Roll; 7–Winder [6].

- **Sistema de alimentação de matéria-prima**

O sistema de alimentação de matéria-prima é o início do processo, local onde são depositados os materiais poliméricos, estes são fornecidos em *Big Bags*, sacos de 25 kg, ou a granel transportados em camiões-cisterna. Estes polímeros estão confinados em silos verticais, sendo que para cada tipo de matéria-prima, homopolímero e copolímero, é necessário haver silos distintos. Os aditivos são conservados em armazém, protegidos da humidade, devido à sua propriedade higroscópica [7-14].

Cada matéria-prima é orientada pneumáticamente para as unidades doseadores que, posteriormente, distribuem quantidades exatas para o misturador. O misturador é um equipamento que ostenta duas funcionalidades, alimenta continuamente a extrusora, devido à presença de uma

rosca na sua constituição, e compacta todo o material polimérico, de modo a evitar a formação de zonas de ar [7-14].

Os sistemas de dosagem e mistura são dois dos pontos-chave para manter a qualidade do filme, sendo que o fluxo de descarga de cada um dos materiais poliméricos pode ser adaptado através de um contador pré-ajustável que integra no sistema de controlo. Após seleccionada a razão de cada um dos constituintes do filme, o sistema reproduz automaticamente o caudal da cada componente, mantendo as proporções adequadas que posteriormente seguem para o misturador [7-13].

- **Zona de extrusão**

Na área de extrusão, os materiais poliméricos são fundidos, filtrados e laminados, sendo que esta zona é constituída pela extrusora principal, 2 coextrusoras, filtro e *Die* 3 camadas [7-13].

Na extrusora principal originar-se-á a camada/capa central do filme, que representa mais de 90% da massa total deste. Esta é constituída por homopolímero de polipropileno (PP), polipropileno reciclado, designado de regranulado, e os aditivos necessários para cada tipo de filme. Nas coextrusoras formar-se-ão as duas camadas/capas externas, separadamente, que resultam da fusão de copolímeros de PP e aditivos, que determinarão outras propriedades ao filme, tais como tensão superficial, selagem e deslizamento [7-14]. Além da produção destas camadas/capas com distintas composições, também é possível produzir filmes com homopolímero nas três camadas/capas, que têm como principal aplicação as cintas adesivas (fita cola), que não necessitam das propriedades que os copolímeros concedem.

Na figura 2 está representada uma extrusora, onde são possíveis identificar três zonas distintas:

- Zona de alimentação, que corresponde aproximadamente a 1/3 do comprimento total do parafuso, contudo esta medida pode variar consoante o material a ser processado e o fabricante. Nesta secção ocorre o transporte do material polimérico para a zona de compressão [7-13].

- Zona de compressão, local da extrusora onde ocorre a plastificação do material, sabendo que corresponde a 1/4 do comprimento total. A plastificação da matéria-prima deve-se a dois fatores, ao aumento da temperatura por resistências externas e ao aumento da pressão do material no canal por estreitamento da secção [7-13].

- Zona de fusão, canal do parafuso em espiral que facilita a mistura e homogeneização do material polimérico sendo nesta secção adicionados os aditivos à mistura. Devido à compressão gerada, o fluxo de material que chega ao final da extrusora é uniforme [7-13].

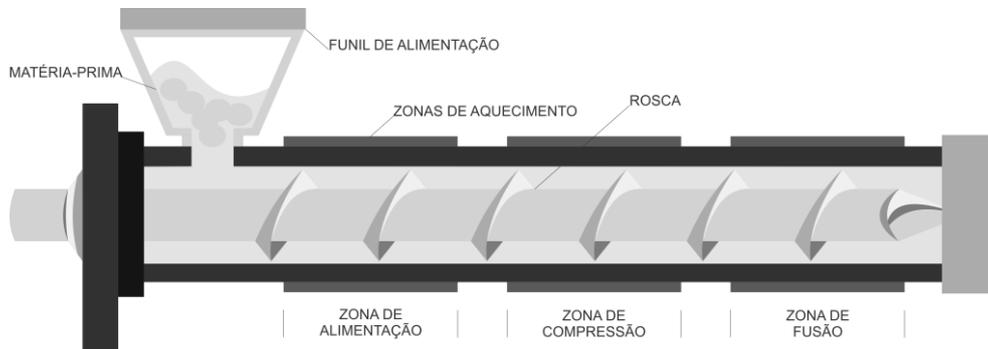


Figura 2: Representação esquemática de uma extrusora do processo de produção de BOPP [15].

Neste tipo de extrusoras, as temperaturas podem variar entre 230 °C a 290 °C, uma vez que a temperaturas mais elevadas há maior fluidez da massa polimérica [7-13].

Após a plastificação das matérias-primas nas extrusoras correspondentes e antes de passar à fase da formação do filme em 3 camadas, todas estas misturas poliméricas são conduzidas a um filtro de modo a reter partículas indesejáveis ou impurezas [7-13].

Tanto a extrusora principal como as coextrusoras estão conectadas à laminadora, também chamada de *Die*, através de adaptadores que conduzem o fundido para os orifícios de entrada da laminadora de três camadas, figura 3. Cada camada/capa tem a sua própria laminadora interna, garantindo um fluxo uniforme em toda a extensão da lâmina [7-13].

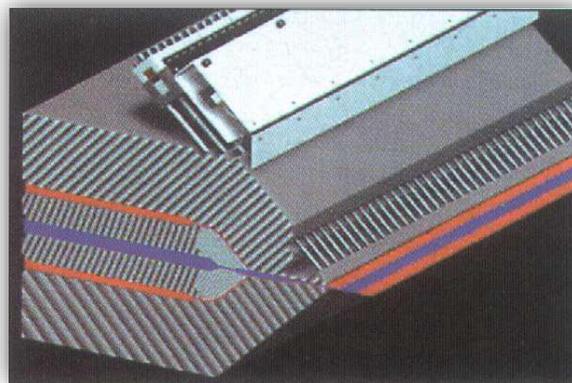


Figura 3: Entrada da laminadora/ *Die* de três camadas/capas [7].

- **Chill Roll - Sistema de refrigeração do filme**

Nesta secção da linha de produção de BOPP ocorre a solidificação do filme por arrefecimento. O filme que flui da laminadora/*Die* cai imediatamente sobre um rolo cromado de grandes dimensões, designado *chill roll*, arrefecido internamente por água, provocando um súbito arrefecimento do plástico. Este arrefecimento rápido impede a formação de núcleos cristalinos no filme que posteriormente iriam afetar as propriedades óticas do mesmo [7-13].

Na figura 4 está esquematizado o sistema de refrigeração do filme/*chill roll*.

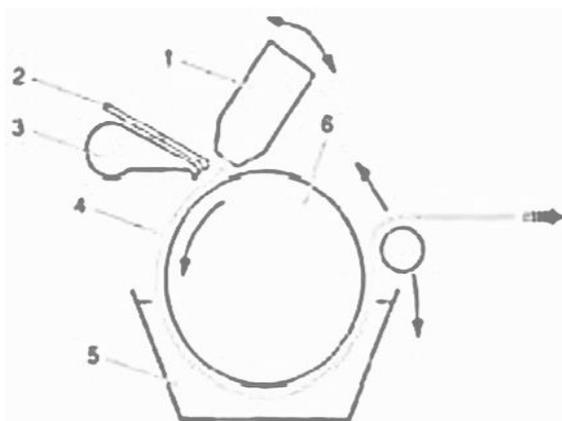


Figura 4: Representação esquemática do *chill roll*: 1-*Die*; 2-bicos de ar; 3- faca de ar; 4-*cast film*; 5-reservatório de água; 6-*chill roll* [16].

Para garantir um bom contacto entre o filme de PP e o rolo de arrefecimento (*chill roll*), nas laterais à saída da *Die*, situam-se uns dispositivos designados de facas de ar. Este dispositivo trata-se de um ventilador plano com ar pressurizado que é ajustável em ângulo e distância entre estes dois componentes, obrigando o filme a ir ao encontro da superfície do rolo. Além das facas de ar, no mesmo posicionamento, também existem os bicos de ar que são responsáveis pela aderência dos bordos ao *chill roll* [7-14].

O rolo cromado está parcialmente submerso num reservatório de água a temperatura controlada, que auxilia o arrefecimento do filme, visto que à medida que há rotação do rolo, o filme aderido é conduzido ao reservatório. As temperaturas entre o conjunto rolo-banho podem variar entre os 15 °C e 35 °C [7-13].

Por fim, após o arrefecimento do filme de PP, que agora se denomina de *cast film*, a água é removida por sopradores que constituem o rolo de arrefecimento/*chill roll* [7-13].

Nesta etapa, é extremamente importante que não ocorram erros ou falhas uma vez que, à medida que o processo de produção do filme BOPP avança, estes erros ou falhas são ampliados até ao produto final podendo não cumprir as características de qualidade exigidas [7-13].

- **MDO (*Machine Direction Orientation, Orientação da Direção da Máquina*)**

Nesta secção é feito o estiramento longitudinal do filme (sentido máquina). O MDO é constituído por vários rolos com diâmetros, temperaturas e velocidades diferentes sendo que é possível identificar três segmentos distintos, conforme a figura 5. Os rolos de pré-aquecimento são os rolos de maior diâmetro aquecidos por um circuito de óleo interno (temperaturas entre 120 °C e 150 °C) onde é promovido o aquecimento lento do filme próximo da temperatura de estiro. Os rolos de estiramento são rolos com diâmetro menor e com velocidades distintas entre si, superiores à dos rolos de pré-aquecimento, ocorrendo o alongamento longitudinal do filme. Os rolos de relaxamento ou estabilidade são rolos com maior diâmetro em que as temperaturas e velocidades oscilam, de modo a reduzir as tensões geradas durante o estiro e fixar as dimensões finais do filme polimérico [7-14].

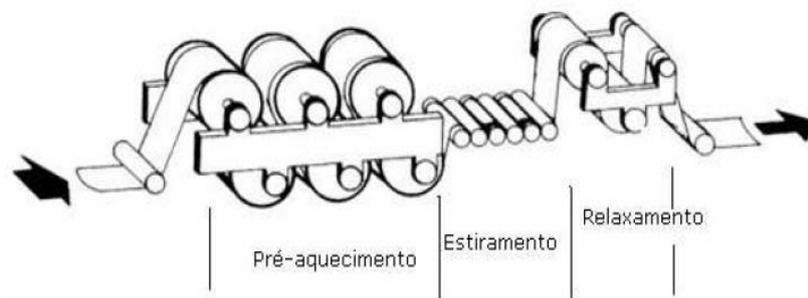


Figura 5: Representação esquemática do MDO [7].

- **TDO (*Transverse Direction Orientation, Orientação da Direção Transversal*)**

Região do processo de produção de filme BOPP em que ocorre o estiramento transversal do filme. Esta secção é constituída por condutas de ar sendo que à entrada do TDO o filme é preso, nas duas extremidades, a pinças instaladas sobre uma correia que se move ao longo do trilho. O TDO divide-se em quatro zonas distintas, conforme a figura 6. Inicialmente, dá-se o pré-aquecimento através do aumento da temperatura por condutas de ar quente, depois o estiramento por alongamento transversal do filme através do aumento progressivo dos carris, estirando o filme mediante relaxação da temperatura, posteriormente, a fixação, assim como no MDO, após o processo de estiro, há redução das tensões internas do filme, e por fim, o arrefecimento é feito com o ar ambiente de modo a obter-se boas propriedades óticas. Após esta etapa, o filme é solto das pinças e é arrastado até ao *Pull Roll* [7-14].

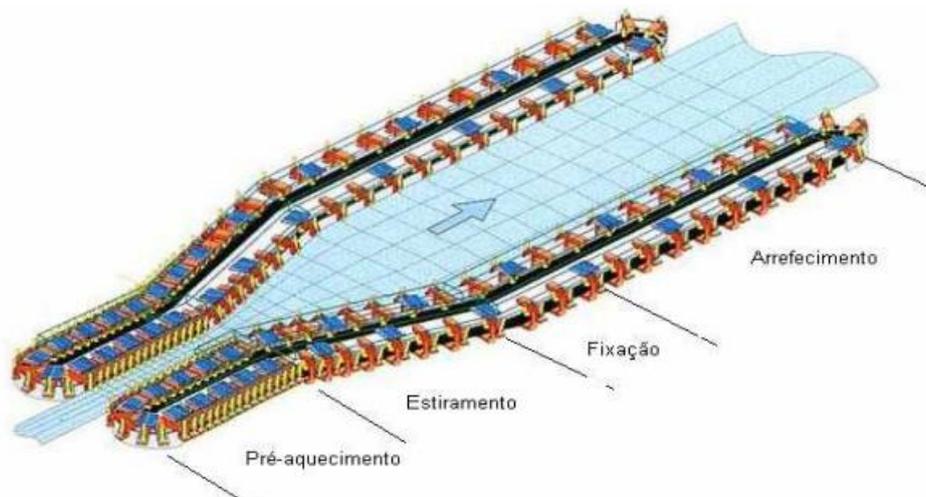


Figura 6: Representação esquemática do TDO [7].

As extremidades do filme de PP, presas pelas pinças, designadas de bordos, vão manter-se sem estiro, e por isso mais espessas sendo necessário remove-las à saída do TDO. De modo a evitar a produção de resíduos, no avançar da produção de filme BOPP, os bordos são triturados num moinho formando o polipropileno reciclado, intitulado de regranulado, que é conduzido posteriormente para a extrusora principal [7-13].

- **Pull Roll – Acondicionamento do filme**

Após todo o processo de estiro terminado, é nesta secção do processo de produção do filme BOPP que resulta o produto final, em que o filme é sujeito a uma série de operações/procedimentos, tais como corte dos bordos, medição da espessura do filme produzido e aplicação do tratamento [7-13].

Na figura 7 está esquematizado a secção do *Pull Roll*.

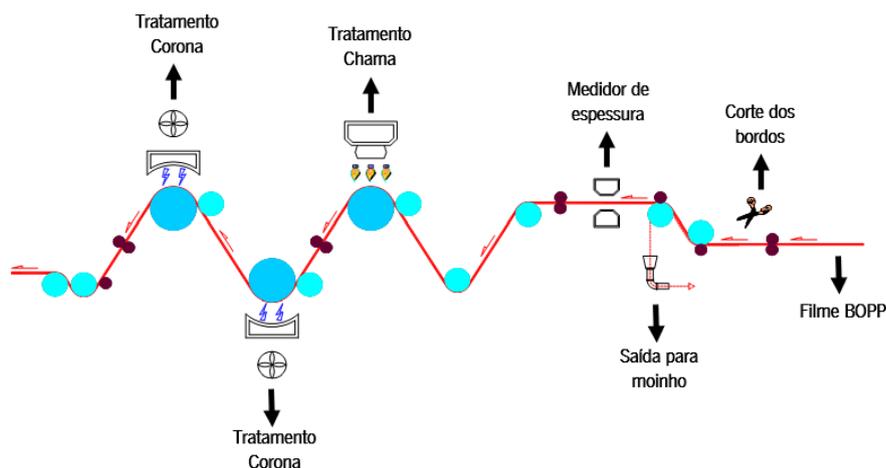


Figura 7: Representação esquemática da zona do *Pull Roll*. Adaptado de [7].

A remoção dos bordos é realizada por lâminas fixas na região do *Pull Roll*. Estes são dirigidos ao moinho garantindo a sua reciclagem. De seguida, é feito o controlo da espessura por um dispositivo que se desloca transversalmente ao filme obtendo-se o perfil de espessura do filme. Esta medição é feita através da utilização de radiação gama ou X, ou seja, à passagem de radiação através do filme há absorção desta, sendo feita uma leitura que o detetor converte para um valor de espessura relativo [7-14].

Por fim, é aplicado o tratamento superficial ao filme BOPP, sendo necessário devido às propriedades deste, como tensão superficial muito baixa, superfície não-porosa e quimicamente inerte. A aplicação do tratamento permite que o filme tenha aderência a revestimentos, adesivos, substratos e tintas de impressão. O tratamento pode ser de dois tipos, chama ou corona, sendo que a variável é o engenho que aplica o tratamento [7-13].

O tratamento corona consiste numa descarga de alta voltagem aplicada na superfície do filme BOPP, sendo que as moléculas de oxigénio presentes no ar ambiente, na zona da descarga, sofrem

ionização, transformando-as em espécies ativas carregadas que oxidam a superfície do filme plástico, figura 8. Esta alteração no filme BOPP permite que a superfície se torne polar, aumentando a sua tensão superficial [17].

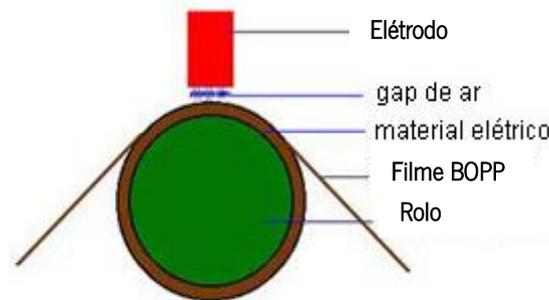


Figura 8: Representação esquemática da aplicação do tratamento corona [17].

No tratamento chama há modificação da superfície do filme através da exposição à chama, que é produto da combustão entre um combustível, que pode ser metano, propano ou butano, e o elemento oxidante que é o oxigénio do ar. Durante a combustão, as moléculas de oxigénio ( $O_2$ ) são dissociadas em átomos de oxigénio livres que bombardeiam a superfície do material polimérico, aumentando assim a sua tensão superficial [18].

Devido às elevadas temperaturas neste tipo de aplicação de tratamento há possibilidade de ocorrerem danos na superfície do filme BOPP e por isso o tratamento corona é o mais utilizado [7, 18].

Como se pode observar na figura 7, na linha de produção de filme BOPP, zona do *Pull Roll*, podem haver duas zonas distintas de aplicação do tratamento corona. Isto acontece, porque pode ser aplicado tratamento superficial nas duas faces do filme [18].

- **Bobinagem (*Winder*)**

Após todos os processos acima descritos, o filme é bobinado para um núcleo de aço. Nesta etapa, é importante controlar a tensão do enrolamento e a pressão do rolo, e para garantir isso a linha possui o rolo de contacto, que como o nome indica, este rolo está em contacto com a bobine com o filme a ser enrolado [19].

Esta zona de bobinagem/ *Winder*, representada na figura 9, apresenta duas posições, onde são colocados os núcleos de aço, e uma unidade de corte automático (faca) de maneira que, ao ocorrer a troca de bobines não haja interrupção do processo de produção [7-13, 19].

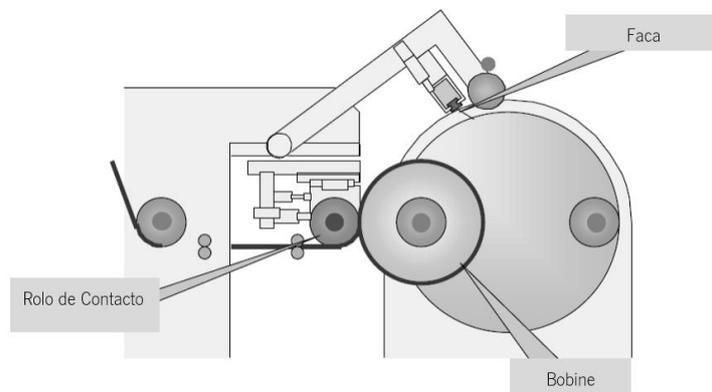


Figura 9: Representação esquemática da *Winder*. Adaptado de [19].

## 2.3 Constituição e características do filme BOPP

O polipropileno (PP) tem origem na reação química de polimerização por adição (figura 10), ou seja, o polímero cristalino é formado por repetição do monómero propeno, com o auxílio de um catalisador, a elevadas temperaturas e pressões. As moléculas de polipropileno podem conter milhares de monómeros devido à natureza das ligações entre si, ligações covalentes [18].

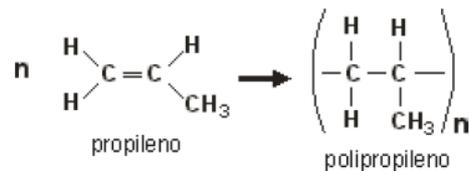


Figura 10: Polimerização do PP [20].

Na constituição do filme BOPP são predominantes dois tipos de matérias primas/polipropileno:

- Homopolímero de polipropileno, o mais rígido, que compõe a capa central;
- Copolímero de polipropileno utilizado na formação das capas externas [7-14].

O homopolímero de polipropileno trata-se da junção de vários monómeros sendo que o seu peso molecular determina o comportamento do homopolímero na produção do filme BOPP, ou seja, quanto maior o peso maior a viscosidade que posteriormente influencia na capacidade deste fluir na laminadora [8]. Este constituinte principal da capa central define propriedades no filme como a espessura, cor, densidade e propriedades mecânicas [7-14].

Pelo contrário, o copolímero obtém-se da polimerização do propileno com etileno, sendo que a proporção de etileno determinará o ponto de fusão do copolímero, quanto maior a quantidade de etileno menor será o ponto de fusão [14, 15, 18].

Além do polipropileno, constituinte fundamental, também podem ser adicionados aditivos ao filme de BOPP. Os aditivos são importantes para conferir uma variedade de funcionalidades aos produtos poliméricos sem que haja alteração na arquitetura do polímero de base, podendo dar características específicas ao filme tais como, selagem, deslizamento e tensão superficial [18].

O filme BOPP é constituído por 3 camadas/capas, figura 11, a camada central que representa a maior parte do filme e é produzida na extrusora principal, e as camadas externas que constituem as faces do filme, que se intitulam por caras, sendo que cada uma delas é produzida em coextrusoras distintas. Ou seja, na coextrusora 1 formar-se-á a cara não-tratada ou interna e na coextrusora 2 a cara tratada ou externa [7-13]. Estas distinções resultam da face onde é colocado o tratamento (cara tratada/não tratada), ou então face que fica na parte externa da bobine (cara externa) e a que fica na parte interna (cara interna) [14].

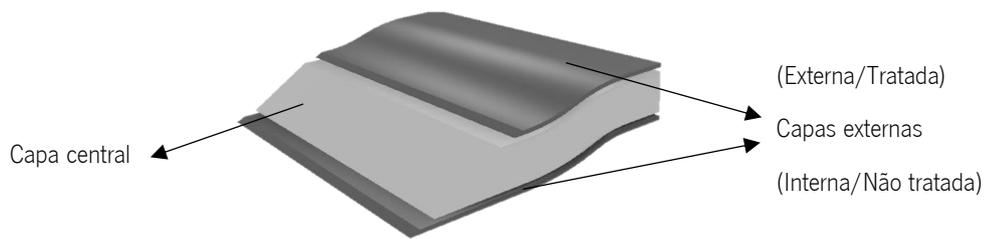


Figura 11: Esquema da constituição do filme BOPP e camadas [16].

## **CAPÍTULO 3 – PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

O presente capítulo está subdividido em duas secções principais, a primeira (3.1) com o filme de polipropileno biorientado comercial selecionado para a realização dos ensaios, e a segunda (3.2) que engloba a descrição dos procedimentos de caracterização do filme BOPP comercial.

### 3.1 Amostragem

O filme BOPP comercial selecionado para este trabalho foi a película polimérica interna que envolve a “bolacha Maria” da marca Continente, figura 12. Este filme foi selecionado devido ao facto de, numa primeira análise com o tato, perceber-se de que se trata de um filme com baixa espessura. Caso se tratasse de um filme de alta espessura, seria provavelmente um filme laminado (combinação de películas que podem ser iguais ou distintas) que, para caracterizar, implicaria uma deslaminação. Este processo poderia deteriorar algumas das características do filme e com isso comprometer uma correta caracterização. Além desta característica, o filme selecionado apresenta elevada rigidez que é uma das principais características do filme BOPP.



Figura 12: Imagem da esquerda: *pack* bolacha Maria marca Continente; Imagem da direita: pacote individual do conjunto de 4 do *pack*.

Após uma breve análise ao filme com a caneta de tratamento (caneta com solução de tensão superficial de 38 dyn/cm), foi possível distinguir as faces do filme. Isto é, face em que a tinta da caneta não adere é a CNT e a face em que a tinta adere é a CT, sendo que a face com tratamento é a face interna da embalagem em contacto com as bolachas.

## 3.2 Procedimento experimental

Para proceder à caracterização do filme BOPP produzido são necessários diversos procedimentos experimentais que serão descritos nesta secção. Para cada um dos ensaios experimentais há especificações técnicas exigidas e intervalos de resultados para que uma dada característica seja considerada conforme.

Os principais ensaios são o controlo da espessura, nível de tratamento, opacidade/*haze*, brilho, propriedades mecânicas, retração, resistência à selagem térmica, temperatura de início de selagem e coeficiente de atrito.

### 3.2.1 Espessura

A medição da espessura do filme de polipropileno é um parâmetro muito importante no controlo de qualidade deste para garantir a uniformidade do perfil do filme. Este parâmetro é definido em micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) e consiste na medição da amostra no palpador (figura 13). Normalmente, a medição de espessura do filme BOPP, na Poligal é feita com outro procedimento, no entanto devido às dimensões reduzidas da amostra foi adotado o procedimento com utilização do palpador.



Figura 13: Palpador (*Mahr Millimar C 1210*).

### 3.2.2 *Nível de tratamento*

A capacidade do filme BOPP em reter tintas, adesivos, revestimentos, etc., depende da tensão superficial deste, contudo, pode ser melhorada por técnicas de aplicação de tratamento superficial, como já foi mencionado no capítulo *2.1 Produção do filme BOPP*. Esta propriedade do filme de polipropileno é crítica no que toca a parâmetros de qualidade e por isso é controlada com rigor.

Para averiguar o nível de tratamento/tensão superficial do filme BOPP são testadas tintas de diferentes níveis de tratamento (figura 14), ao longo do comprimento da amostra. Estas tintas são obtidas através da mistura de diferentes proporções de etilenoglicol e formamida. A tinta considerada é aquela que se mantiver numa película uniforme e contínua, sem formação de gotas, durante pelo menos 2 segundos.

A norma utilizada para a determinação do nível de tratamento foi a ISO 8296 e o ensaio foi realizado segundo a I.TL.11 da empresa.



Figura 14: Conjunto de tintas com distintos níveis de tratamento.

### 3.2.3 Opacidade/Haze

A opacidade é a percentagem de luz transmitida que, ao atravessar a amostra, sofre dispersão superior a  $2,5^\circ$  relativamente ao feixe de luz incidente, conforme é representado na figura 15. Quanto menor a opacidade/haze menor será a dispersão da luz, indicando que a amostra apresenta boa homogeneização e presença reduzida de impurezas microcópicas, ou seja, filme de polipropileno com melhores características.

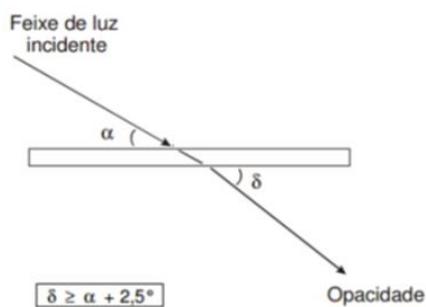


Figura 15: Representação esquemática do efeito de dispersão da luz para a propriedade opacidade/haze.

O equipamento utilizado neste ensaio é o *Hazemeter* (figura 16) e foi realizado segundo a ITL.12 da empresa que tem como base a norma ASTM D-1003.



Figura 16: EEL 57D Hazemeter.

### 3.2.4 Brilho

O brilho está relacionado com a aptidão do filme em refletir a luz incidente, uma vez que pode ser quantificada por equipamentos que determinam a percentagem de luz incidente e refletida para um determinado ângulo, conforme é representado na figura 17.

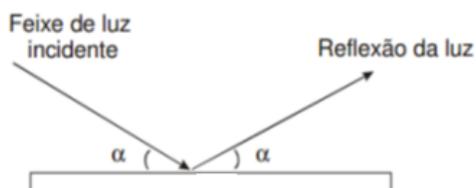


Figura 17: Representação esquemática do efeito de reflexão da luz para a propriedade brilho.

Este parâmetro trata-se de uma medida relativa, em outros termos, é feita uma medição relativamente a um padrão de referência, que neste caso é o vidro preto altamente polido.

A medição do brilho é efetuada pelo brilhômetro (figura 18) para um ângulo convencionalizado de  $45^\circ$  sendo que é feita para ambas as faces do filme, Cara Tratada (CT) e Cara Não Tratada (CNT).

A norma utilizada para a determinação do brilho foi a ASTM D-2457 e o ensaio foi realizado segundo a ITL.02 da empresa.



Figura 18: Brilhômetro (*Micro-gloss 45°*).

### 3.2.5 Propriedades Mecânicas

As condições de utilização e as aplicações finais do filme BOPP devem relacionar-se com as distintas propriedades do filme de polipropileno a avaliar, por exemplo, uma exigência deste filme é a sua elevada rigidez devido à sua manipulação, e também às aplicações deste tais como, rótulos e embalagem diversificado, desde alimentos a outro tipo de objetos.

Para este ensaio são feitas três medições distintas, a resistência à tração na rotura, a deformação na rotura e o módulo de elasticidade. Estes parâmetros são medidos a cada provete que é colocado no equipamento, figura 19, sendo que os resultados obtidos são uma relação entre a força e o alongamento. A resistência à tração na rotura é a força aplicada por secção reta do provete, ou seja, força necessária para que se dê a quebra do provete enquanto a deformação na rotura é a percentagem do alongamento sofrido em relação às dimensões iniciais entre as amarras. O módulo de elasticidade é a força aplicada até ao momento que ocorra a deformação, sendo que este parâmetro avalia a rigidez do filme.

Para esta prova são cortados provetes de dimensões 15 mm x 200 mm e, um a um, são colocados no equipamento, que fará a determinação das propriedades mecânicas. As condições do ensaio são: velocidade do ensaio 100 mm/min, distância inicial entre amarras 100 mm e velocidade do ensaio para a determinação do módulo de elasticidade 1 mm/min.

O ensaio foi realizado segundo a ITL.05 da empresa que tem como base a norma ISO 527.



Figura 19: Instron modelo 3343.

### 3.2.6 *Retração*

A retração é a alteração das dimensões do filme BOPP sob influência de calor, expressa em percentagem (%).

Para esta prova são cortados provetes de dimensões 120 mm x 120 mm e são medidas e registadas as dimensões dos provetes, sentido transversal (TD) e sentido longitudinal ou máquina (MD), sendo estas as dimensões iniciais.

Posteriormente, as amostras são colocadas na estufa, a 130 °C em caixas com caulino, durante 5 min e de seguida são colocadas em repouso, a temperatura ambiente, durante 30 min. Terminado de decorrer a meia hora são medidas e registadas as dimensões finais dos provetes, sendo que os resultados da retração são a diferença entre as medidas iniciais e as medidas finais convertidas a percentagem.

O ensaio foi realizado segundo a ITL.10 da empresa que é regida pela norma ISO 11501.

### 3.2.7 Resistência à selagem térmica

Este parâmetro permite analisar a capacidade de resistência do filme BOPP, após selado, quando aplicada uma força. Esta propriedade do filme é muito importante porque é a partir da selagem que é possível fechar as embalagens comerciais, garantindo que a uma temperatura *standard* este processo decorre. Também é importante que a selagem ocorra num intervalo de tempo específico porque no processo de embalagem automático a selagem do filme é realizada no equipamento de embalagem sendo que o tempo de selagem decorre em segundos.

A resistência à selagem é a força máxima obtida para separar duas amostras de filme seladas tendo com referência o comprimento inicial destas.

Este ensaio consiste no aquecimento de duas amostras de filme, uma sobre a outra, de maneira a ocorrer a fusão destas e formar uma união entre os filmes. No equipamento de selagem (figura 20), é possível variar a temperatura das barras de selagem, que ficam em contacto com o filme, o tempo e a pressão exercida. Para estes ensaios as condições são a temperatura das barras de 130 °C, o tempo de selagem de 0,5 s e a pressão de selagem de 1 bar.

A resistência à selagem térmica é analisada em ambas as faces do filme, ou seja, Cara Tratada x Cara Tratada e Cara Não Tratada x Cara Não Tratada.

O ensaio foi realizado segundo a ITL.06 da empresa que segue a norma DIN 55529.



Figura 20: Seladora (*Brugger D-80335 Munchen*)

### 3.2.8 *Temperatura de início de selagem*

Tal como a resistência à selagem permite analisar a capacidade de resistência do filme BOPP quando aplicada uma força, após selado, a temperatura de início de selagem permite conhecer a temperatura mínima a que sela o filme.

O ensaio consiste na fusão/união de amostras de filme e posteriormente é aplicada força, sendo este ensaio feito para diferentes temperaturas. É considerada a temperatura de início de selagem aquela em que a força de resistência seja maior ou igual a 1 N. Este parâmetro apenas foi avaliado numa face do filme BOPP, Cara Não Tratada.

O ensaio foi realizado segundo a ITL.06 da empresa que segue a norma DIN 55529.

### 3.2.9 Coeficiente de atrito

O atrito é a força de resistência que se opõe ao deslizamento de uma superfície relativamente a outra, sendo que o atrito cinético (ou dinâmico) é a força média necessária que mantém o deslizamento a uma velocidade constante.

O coeficiente de atrito (COF) é um parâmetro que varia consideravelmente ao longo do tempo devido à migração dos constituintes do filme de polipropileno, neste caso, dos agentes deslizantes.

Este ensaio consiste no deslizamento de filmes no equipamento, figura 21, em que é colocada uma amostra de filme numa superfície lisa, fixa nas extremidades, e sobre esta é colocado um bloco revestido por filme que deslizará sobre o filme fixo.

Contudo, a migração dos aditivos é diferente em cada uma das faces e por isso, é possível determinar três parâmetros de COF dependendo das faces em que ocorram os deslizamentos, tais como a Cara Tratada (CT) x Cara Tratada (CT), Cara Tratada (CT) x Cara Não Tratada (CNT), Cara Não Tratada (CNT) x Cara Não Tratada (CNT).

A norma utilizada para a determinação do coeficiente de atrito foi a ISO 8295 e ensaio foi realizado segundo a ITL.03 da empresa.

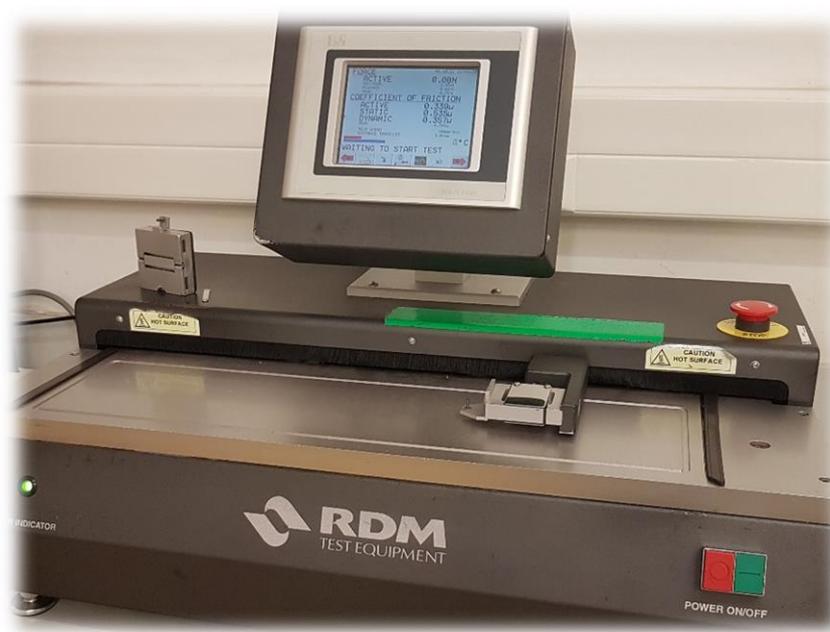


Figura 21: Medidor de COF (*RDM Test Equipment CF-800XS*).

## **CAPÍTULO 4 – APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

O presente capítulo está subdividido em duas secções principais, a primeira (4.1) que agrupa os resultados obtidos para cada um dos ensaios e são feitas algumas considerações/conclusões, e a segunda (4.2) que ao compilar os resultados obtidos para o filme comercial é feita uma identificação do tipo de filme BOPP de acordo com os filmes que a empresa dispõe, e de seguida são comparadas as especificações da ficha de dados técnicos (TDS), para o filme selecionado, com os resultados do filme comercial.

## 4.1 Apresentação de resultados

### 4.1.1 Espessura

Como referido na secção 3.2.1 a medição da espessura é feita diretamente no palpador, onde é colocada a amostra de filme comercial e posteriormente efetuada a medição que aparece no ecrã. Neste procedimento foram feitas 10 medições (tabela 1) sendo que a espessura é o valor médio.

Tabela 1: Resultados de espessura do filme BOPP comercial.

<b>Proвете</b>	<b>ES (µm)</b>
<b>1</b>	29,8
<b>2</b>	29,5
<b>3</b>	29,6
<b>4</b>	29,6
<b>5</b>	28,9
<b>6</b>	29,5
<b>7</b>	29,5
<b>8</b>	29,9
<b>9</b>	29,9
<b>10</b>	29,2
<b>Média</b>	29,5
<b>Desvio Padrão</b>	0,3

A partir deste valor médio é possível indicar que a espessura do filme BOPP comercial é de 30 µm.

#### 4.1.2 *Nível de tratamento*

O nível de tratamento foi avaliado em 3 amostras distintas, sendo que se iniciou, em todas elas, com a tinta de tensão superficial 42 dyn/cm, valor mínimo à saída da extrusão, garantindo desta forma que mesmo após o decréscimo esperado ao longo do tempo, o valor final não seja inferior a 38 dyn (nível de tratamento especificado para o período de garantia do filme de 6 meses após produção). À medida que se faz a prova desta tinta são formadas gotículas e por isso é testada a tinta com tensão superficial abaixo.

O nível de tratamento do filme comercial para as 3 amostras é de 38 dyn/cm, a tinta formou uma película, sendo que as tintas de tensão superficial acima formam gotículas.

#### 4.1.3 *Opacidade/Haze*

Para este ensaio foram efetuadas 6 medições (tabela 2), uma vez que o resultado é expresso em percentagem.

Tabela 2: Resultados de opacidade/*haze* do filme BOPP comercial.

<b>Provete</b>	<b><i>Haze (%)</i></b>
<b>1</b>	7,1
<b>2</b>	5,5
<b>3</b>	6,2
<b>4</b>	6,3
<b>5</b>	5,1
<b>6</b>	6,1
<b>Média</b>	6,1
<b>Desvio Padrão</b>	0,7

#### 4.1.4 Brilho

Tal como o *haze*, para a medição do brilho, também foram realizadas 6 medições (tabela 3), no entanto para este ensaio o brilho é medido nas duas faces do filme, referido *à priori* na secção 3.2.4. É importante que, para ambas as faces, os valores de brilho sejam elevados porque se tratam de embalagens para impressão e devem possuir boa apresentação. O brilho é expresso em percentagem.

Tabela 3: Resultados de brilho CT/CNT do filme BOPP comercial.

<b>Provete</b>	<b>Brilho (%)</b>	
	<b>CT</b>	<b>CNT</b>
<b>1</b>	33,0	36,0
<b>2</b>	45,0	76,4
<b>3</b>	80,7	85,4
<b>4</b>	55,3	59,1
<b>5</b>	57,7	59,4
<b>6</b>	80,2	82,9
<b>Média</b>	58,7	66,5
<b>Desvio Padrão</b>	19,0	18,6

#### 4.1.5 Propriedades Mecânicas

Como já referido na secção 3.2.5 as principais propriedades mecânicas a avaliar são a resistência à tração na rotura, deformação na rotura e módulo de elasticidade. Estes parâmetros dependem da direção do ensaio devido às condições de estiramento, pelo que são determinados em ambos os sentidos do filme, MD e TD. Para cada orientação do filme comercial, MD e TD, é apresentado o gráfico (gráfico 1 e 2) de estiro e a respetiva tabela com os resultados das propriedades mecânicas (tabela 4 e 5).

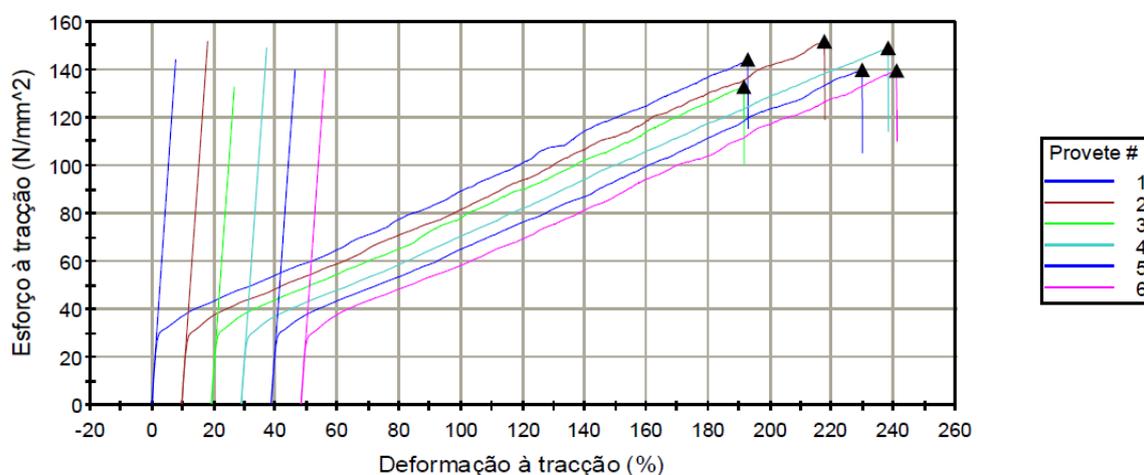


Gráfico 1: Esforço à tração (N/mm<sup>2</sup>) vs deformação à tração (%) para os 6 provetes em MD.

Tabela 4: Resultados das propriedades mecânicas em MD do filme BOPP comercial.

Provete	MD		
	Deformação na rotura (%)	Resistência à tração na rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (N/mm <sup>2</sup> )
<b>1</b>	192,53	144,19	1882,90
<b>2</b>	207,65	151,78	1789,82
<b>3</b>	172,02	132,84	1793,54
<b>4</b>	209,03	149,06	1818,87
<b>5</b>	190,99	139,89	1793,87
<b>6</b>	192,50	139,57	1781,50
<b>Média</b>	194,12	142,89	1810,08
<b>Desvio Padrão</b>	13,48	6,93	37,80

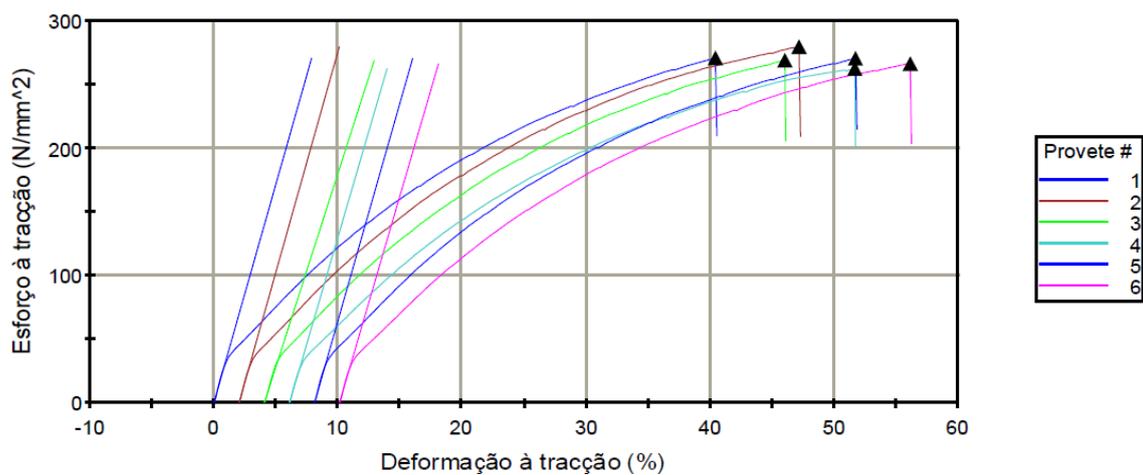


Gráfico 2: Esforço à tração (N/mm<sup>2</sup>) vs deformação à tração (%) para os 6 provetes em TD.

Tabela 5: Resultados das propriedades mecânicas em TD do filme BOPP comercial.

Provete	TD		
	Deformação na rotura (%)	Resistência à tração na rotura (N/mm <sup>2</sup> )	Módulo de elasticidade (N/mm <sup>2</sup> )
<b>1</b>	40,39	270,65	3422,38
<b>2</b>	45,10	279,46	3448,31
<b>3</b>	41,93	268,77	3032,98
<b>4</b>	45,52	262,40	3323,28
<b>5</b>	43,55	270,40	3412,85
<b>6</b>	45,93	266,14	3335,28
<b>Média</b>	43,74	269,64	3329,18
<b>Desvio Padrão</b>	2,21	5,72	153,42

#### 4.1.6 Retração

A avaliação da retração é feita a partir da diferença das medições, antes e depois de o filme ser submetido ao calor. Este parâmetro é avaliado nas duas direções do filme BOPP, MD (tabela 6) e TD (tabela 7) sendo expresso em percentagem. Para este ensaio foram feitas 4 medições.

Tabela 6: Resultados das distâncias iniciais e finais em MD do filme BOPP comercial.

Provete	MD	
	Distância Inicial (cm)	Distância Final (cm)
1	9,7	9,20
2	9,7	9,25
3	9,7	9,20
4	9,7	9,15

A retração no sentido longitudinal/máquina (MD) é de 5,15% com desvio padrão de 0,42%.

Tabela 7: Resultados das distâncias iniciais e finais em TD do filme BOPP comercial.

Provete	TD	
	Distância Inicial (cm)	Distância Final (cm)
1	9,7	9,35
2	9,7	9,5
3	9,7	9,4
4	9,7	9,4

A retração no sentido transversal (TD) é 2,96% com desvio padrão de 0,65%.

#### 4.1.7 Resistência à selagem térmica

A resistência à selagem térmica para o filme BOPP comercial foi avaliada para duas faces, CT e CNT, sendo que para cada face foram testados 6 provetes. Após a selagem na seladora, a medição da força necessária para separar as superfícies seladas (pico máximo) foi feita no equipamento de tração (Instron), que está acoplado a um software que permite apurar os resultados dos picos máximos da força aplicada.

O resultado da resistência à selagem térmica para cada uma das faces do filme é a média das repetições expresso em N/15mm. Para cada orientação do filme comercial, MD e TD, é apresentado o gráfico de estiro (gráfico 3 e 4) e a respectiva tabela com o pico máximo de carga (tabela 8 e 9).

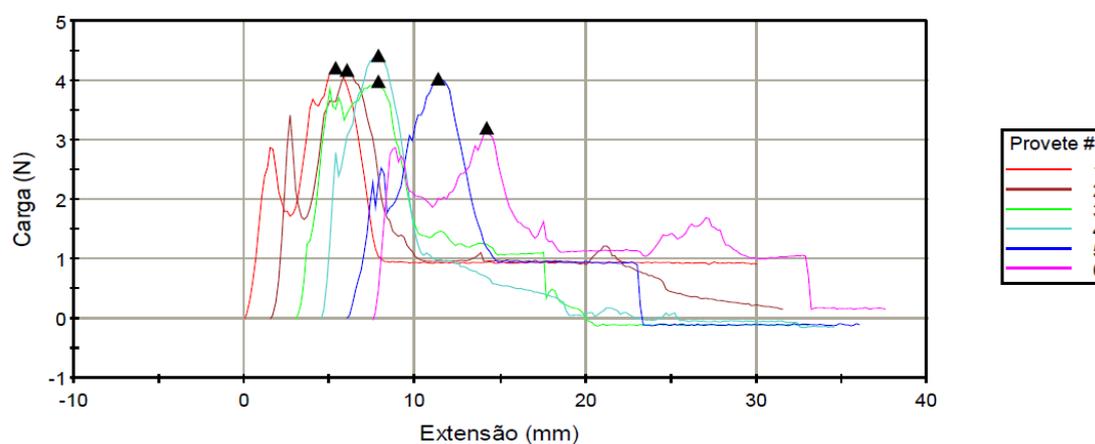


Gráfico 3: Carga (N) vs extensão (mm) para os 6 provetes na CT.

Tabela 8: Resultados da resistência à selagem térmica para a CT do filme BOPP comercial.

Provete	CT
	Carga Máxima (N)
1	4,21
2	4,18
3	3,99
4	4,42
5	4,03
6	3,20
Média	3,96
Desvio Padrão	0,46

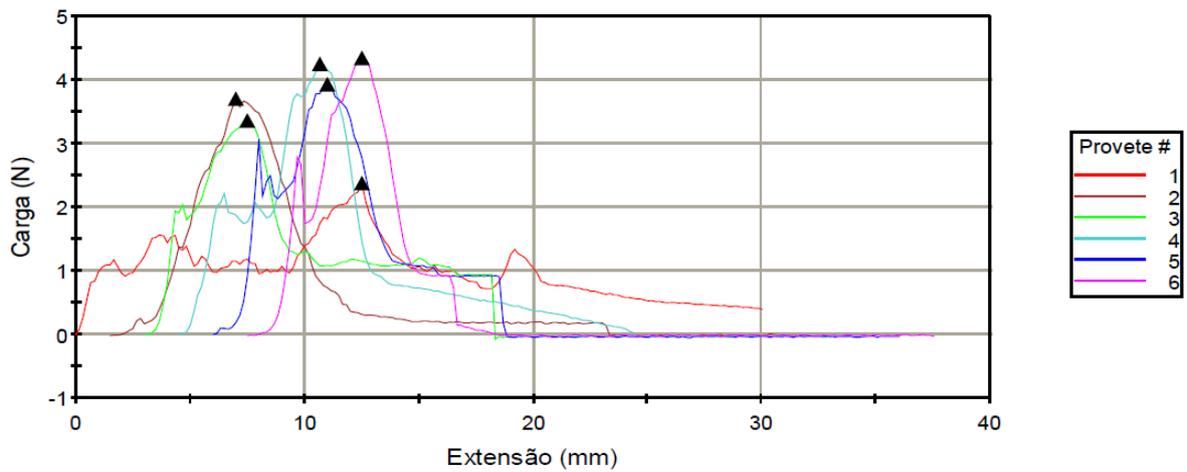


Gráfico 4: Carga (N) vs extensão (mm) para os 6 provetes na CNT.

Tabela 9: Resultados da resistência à selagem térmica para a CNT do filme BOPP comercial.

Provete	CNT
	Carga Máxima (N)
<b>1</b>	2,38
<b>2</b>	3,71
<b>3</b>	3,36
<b>4</b>	4,25
<b>5</b>	3,93
<b>6</b>	4,34
<b>Média</b>	3,66
<b>Desvio Padrão</b>	0,72

#### 4.1.8 Temperatura de início de selagem

Como referido na secção 3.2.8 a temperatura de início de selagem é estimada quando a força de resistência seja superior ou igual a 1 N, em todas as repetições para a mesma temperatura. Este parâmetro apenas é avaliado na CNT do filme comercial porque esta face apresenta menor temperatura de início de selagem relativamente à CT. Para a medição da temperatura de início de selagem na CNT são apresentados o gráfico (5) e a respetiva tabela com o pico máximo de carga (tabela 10).

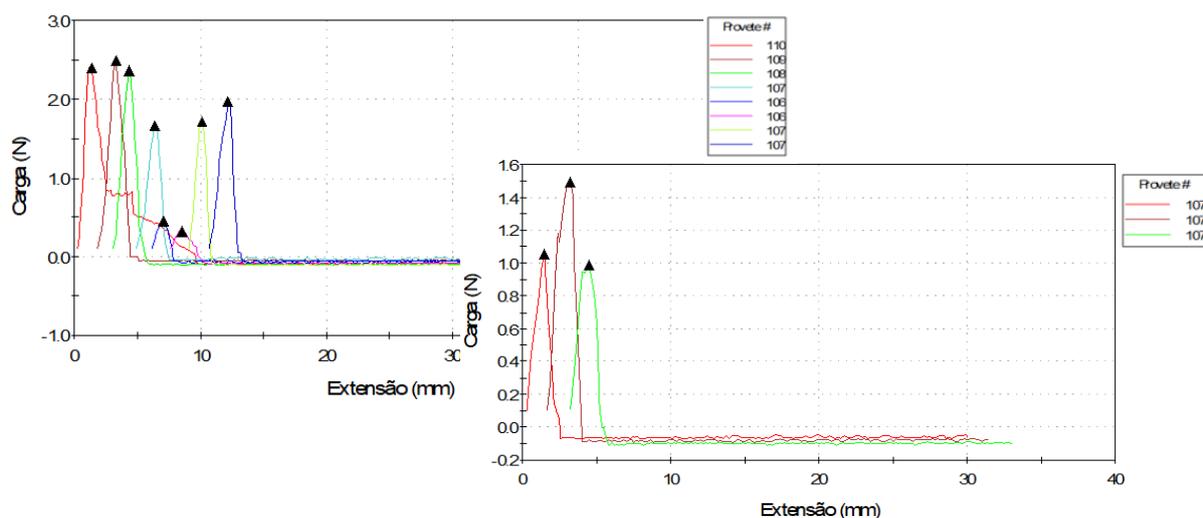


Gráfico 5: Carga (N) vs extensão (mm) para 11 provetes na CNT.

Tabela 10: Resultados da resistência à selagem térmica para a CNT a distintas temperaturas do filme BOPP comercial

Provete	CNT	
	Temperatura (°C)	Carga Máxima (N)
<b>1</b>	<b>110</b>	2,40
<b>2</b>	<b>109</b>	2,50
<b>3</b>	<b>108</b>	2,36
<b>4</b>	<b>107</b>	1,67
<b>5</b>	<b>106</b>	0,44
<b>6</b>	<b>106</b>	0,32
<b>7</b>	<b>107</b>	1,72
<b>8</b>	<b>107</b>	1,97
<b>9</b>	<b>107</b>	1,05
<b>10</b>	<b>107</b>	1,49
<b>11</b>	<b>107</b>	0,98

Segundo os resultados obtidos a temperatura de início de selagem do filme BOPP comercial para a CNT é de 107 °C, sendo que a 106 °C a força de resistência é menor que 1 N.

#### 4.1.9 Coeficiente de atrito

Como referido na secção 3.2.9, o COF pode ser avaliado em três parâmetros consoante as faces em que ocorre o deslizamento. Para o filme comercial, foram medidos os três coeficientes de atrito em três amostras distintas. As médias e desvios padrão para cada COF estão representadas na tabela 11. O coeficiente de atrito é adimensional.

Tabela 11: Resultados do coeficiente de atrito do filme BOPP comercial.

Provete	Coeficiente de atrito		
	CT x CNT	CT x CT	CNT x CNT
<b>1</b>	0,21	0,19	0,22
<b>2</b>	0,22	0,21	0,24
<b>3</b>	0,19	0,18	0,22
<b>Média</b>	0,21	0,19	0,23
<b>Desvio padrão</b>	0,02	0,02	0,01

## 4.2 Avaliação do filme comercial

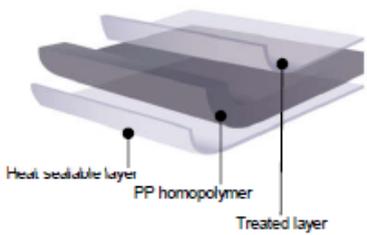
A avaliação das características e resultados obtidos do filme comercial permitem concluir de que se trata de um filme BOPP CATE SOL, filme padrão termosselável em ambos os lados com tratamento externo. A folha de dados técnicos (TDS) deste filme está disponível online na página da empresa Poligal (<http://www.poligal.com/sites/default/files/TDS%20CATE%20SOL%20Jan%2021.pdf>), figura 22, sendo que cada parâmetro avaliado para o filme comercial será confrontado com a especificação da TDS.

**CATE SOL**  
thickness (µm): 15-20-25-30-35-40-50

---

**PRODUCT DESCRIPTION**

- Transparent BOPP film.
- Good optical properties, gloss and transparency.
- Good dimensional stability.
- Suitable for rotogravure and flexographic printing and lamination.



**KEY FEATURES**

Transparent coextruded BOPP film with great versatility in the packaging industry.

**USE**

Food industry. The film complies with the UE and FDA regulations for use in contact with food.

PROPERTIES		UNIT	VALUE APPLIED to CATE SOL							TOLERANCE	TEST
Thickness		microns	15	20	25	30	35	40	50	± 5%	ISO 4591
Unit weight		g/m <sup>2</sup>	13.7	18.2	22.8	27.3	31.9	36.4	46.5	± 7%	ISO 4591
Yield		m <sup>2</sup> /kg	73.3	54.9	44.0	36.6	31.4	27.5	22.0	± 7%	ISO 4591
Tensile strength at break	MD	N/mm <sup>2</sup>	130							≥ N - 30	ISO 527
	TD		240								
Elongation at break	MD	%	200							≤ N + 40	ISO 527
	TD		60								
Shrinkage	MD	%	6	5.5	5				≤ N + 1.5	ISO 11501	
	TD		3	2.5	2						
Surface treatment level	TS	dynes/cm	38							≥ 38	ISO 8296
	US		35								
Heatsealing resistance US/US		N/15 mm	2.0	2.5	3.0	3.5		4.0	≥ N - 0.5	DIN 55529	
Sealing initiation temperature US/US		°C	106							≤ N + 6	DIN 55529
Haze		%	2.3	2.6	3.0	3.3	3.4	3.6	3.8	≤ N + 1.5	ASTM D-1003
Gloss 45°			80							≥ N-5	ASTM D-2457
Dynamic friction coefficient US/US			0.30							≤ N + 0.1	ISO 8295
Width		mm	100-2100*							N - 0 + 2	-

MD = Longitudinal direction  
 TD = Transversal direction  
 TS = Treated side  
 US = Untreated side  
 \* For other options please request information

Segundo a TDS a medição da espessura pode variar  $\pm 5\%$  do valor objetivo, sabendo que se assumiu uma espessura de 30  $\mu\text{m}$  para o filme comercial, o intervalo de resultados deve estar entre 28,5  $\mu\text{m}$  a 31,5  $\mu\text{m}$ , o que se verifica nas 10 medições efetuadas.

Para o nível de tratamento, a TDS tem para a CT o mínimo de 38 dyn/cm, sendo que o nível de tratamento avaliado no filme comercial é de 38 dyn/cm.

Os resultados obtidos para a opacidade/ *haze* e brilho são muitos discrepantes entre si, como se pode observar pelos desvios padrão de cada parâmetro (tabela 12), e comparativamente à TDS os resultados obtidos são muito díspares, não cumprindo o especificado para estes ensaios. Estes resultados obtidos devem-se à manipulação que o filme comercial já teve, considerando que a TDS é para filmes plásticos virgens, ou seja, que não tiveram qualquer tipo de manipulação.

Tabela 12: Resultados obtidos para o filme comercial e especificação da TDS para os ensaios de opacidade/ *haze* e brilho.

		<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>TDS</b>
<b>Haze (%)</b>		6,1	0,7	$\leq 4,8$
<b>Brilho (%)</b>	<b>CT</b>	58,7	19,0	$\geq 75,0$
	<b>CNT</b>	66,5	18,6	

Para as propriedades mecânicas a TDS apenas refere a resistência à tração na rotura e a deformação na rotura. A partir da apresentação dos dados na tabela 13, é possível verificar que as propriedades mecânicas em ambos os sentidos do filme, MD e TD, cumprem o especificado na TDS.

Tabela 13: Propriedades mecânicas: resultados obtidos para o filme comercial e especificação da TDS.

<b>Propriedades Mecânicas</b>		<b>Resultados obtidos</b>	<b>TDS</b>
<b>Resistência à tração na rotura (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>MD</b>	142,89	$\geq 100,00$
	<b>TD</b>	269,64	$\geq 210,00$
<b>Deformação na rotura (%)</b>	<b>MD</b>	194,12	$\leq 240,00$
	<b>TD</b>	43,74	$\leq 80,00$

Os resultados obtidos no módulo de elasticidade para o filme comercial foram comparados com o histórico da empresa. Para as produções do ano de 2021, os valores médios à saída para CATE 30 SOL foram: MD 1419,60 N/mm<sup>2</sup> e TD 2869,06 N/mm<sup>2</sup>, e para análises de envelhecimento para filmes com 6 meses foram (aproximadamente): MD 2000 N/mm<sup>2</sup> e TD 4000 N/mm<sup>2</sup>. A partir dos resultados obtidos do módulo de elasticidade para o filme comercial (MD=1810,08 N/mm<sup>2</sup> e

$T_D=3329,18 \text{ N/mm}^2$ ) é possível verificar que estes estão entre os resultados do histórico da empresa para filmes à saída e filmes com 6 meses, aproximando-se dos valores esperados aos 6 meses.

Segundo a TDS, para a espessura de  $30 \mu\text{m}$ , a retração em MD tem de ser inferior ou igual a 6,5% e em TD inferior ou igual a 3,5%, dado que para o filme comercial obteve-se 5,15% de retração em MD e 2,96% em TD, para este parâmetro também é cumprida a especificação da TDS.

Para a resistência à selagem térmica, a TDS apenas refere a CNT, uma vez que para a espessura de  $30 \mu\text{m}$ , tem de ser superior ou igual  $3,0 \text{ N/15mm}$ . O valor obtido para o filme comercial é de  $3,66 \text{ N/15mm}$  cumprindo-se a discriminação da TDS.

Para a temperatura de início de selagem na CNT, é expresso na TDS que deve ser inferior ou igual a  $112 \text{ }^\circ\text{C}$ , sendo que para o filme comercial obteve-se uma temperatura de início de selagem de  $107 \text{ }^\circ\text{C}$ , este resultado obedece à indicação da TDS.

Para o coeficiente de atrito, a TDS apenas refere o deslizamento das faces CNT x CNT, que deve ser inferior ou igual a 0,40, sendo que se obteve um valor médio de 0,23, garantindo o descrito na folha de dados técnicos. Para os restantes resultados de coeficientes de atrito, 0,19 (CT x CT) e 0,21 (CT x CNT), estes foram comparados com o histórico da empresa para COF aos 7 dias: CT x CT= 0,27; CNT x CT= 0,26. Para ambas as comparações, os resultados do filme comercial são inferiores, sendo o espectável, devido à migração dos componentes entre as capas que leva ao decréscimo do COF ao longo do tempo.

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO**

O conhecimento *à priori* da constituição do filme de polipropileno biorientado, o seu processo de produção e quais as aplicações deste dirige as empresas deste setor à melhoria contínua no fabrico deste material polimérico, mas também, no rigor do controlo de qualidade deste visto que, a maior área de aplicação é a indústria alimentar.

No presente trabalho, foi caracterizado um filme BOPP comercial a partir dos procedimentos de controlo de qualidade da Poligal identificando-se que se tratava de um filme CATE 30 SOL. Após a identificação do filme comercial, compararam-se os resultados obtidos deste com a TDS. Cada resultado obtido para cada procedimento utilizado na caracterização do filme comercial foi confrontado com a respetiva especificação da propriedade na TDS, sendo que para os ensaios de espessura, nível de tratamento, propriedades mecânicas, retração, resistência à selagem térmica, temperatura de início de selagem e coeficiente de atrito, os resultados obtidos encontram-se dentro do especificado na TDS, evidenciando de que o filme BOPP comercial se trata de um CATE 30 SOL.

Para os ensaios de opacidade/*haze* e brilho, os resultados obtidos para o filme comercial não obedecem ao especificado na TDS. No entanto, as propriedades enumeradas na folha de dados técnicos são para filmes não manipuláveis ou virgens. Como ambas as propriedades são influenciadas pela manipulação do filme, tanto o incumprimento da especificação da TDS como os resultados obtidos serem discrepantes entre medições são expectáveis, porque além de sabermos que o plástico já foi manuseado para o embalamento do alimento, também é possível ver no filme linhas longitudinais esbranquiçadas da disposição das bolachas no pacote, provavelmente gordura libertada por estas, que afetam as medições destas propriedades. Portanto, a partir destas propriedades, opacidade/*haze* e brilho, não é possível afirmar ou negar de que o filme comercial se trata de um CATE 30 SOL, por falta de resultados confiáveis.

Após análise de todos os resultados obtidos para o filme comercial, é possível concluir de que se trata de um filme CATE 30 SOL, em que a especificação da TDS é cumprida em 7 de 9 propriedades avaliadas.

Em suma, este trabalho contribuiu para uma melhor compreensão dos mecanismos do processo de produção do filme BOPP, como a constituição do filme é fundamental para obter determinadas características no produto final e a interpretar resultados segundo a TDS.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] APIP (Associação Portuguesa da Indústria de Plásticos) a 22 de janeiro de 2022 em [www.apip.pt](http://www.apip.pt)
- [2] Kilcast, D., & Subramaniam, P. (Eds.) (2011). Food and beverage stability and shelf life. Elsevier.
- [3] Heijungs, R., Huppes, G., Guinée, J.B. (2010). Life cycle assessment and sustainability analysis of products, materials and technologies. Toward a scientific framework for sustainability life cycle analysis. *Polymer Degradation and Stability*, 95(3), pp.422-428.
- [4] Crippa, A. (2006). Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas. Pós-Graduação em Engenharia de Ciência dos Materiais. Paraná, Universidade Federal do Paraná, 151.
- [5] Shen, L., Worrell, E. (2014). Plastic recycling. In Handbook of recycling. Elsevier. pp.179-190.
- [6] Group Vibac a 8 de junho de 2020 em <http://www.vibac.it/en/manufacturing/film/extrusion/>
- [7] Carvalho, L.B. (2008). Produção de polipropileno bi-orientado (Bopp): tecnologia e aplicações. Tese de Doutorado, Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.
- [8] Ebnesajjad, S. (Ed.) (2012). Plastic films in food packaging: materials, technology and applications. William Andrew.
- [9] Borello, O.J., Bouzas, S. (1995). Filme de polipropileno orientado: aplicaciones, procesos y parámetros de calidad. *Ingeniería química*, 313, 109-116.
- [10] Izdebska-Podsiadły, J., Thomas, S. (Eds.) (2015). Printing on polymers: fundamentals and applications. William Andrew.
- [11] Miguel, P.A.C., Telfser, M., Maruca, A., Gallonetti, A., Saracura, A., Martins, L., Mora, V. (2003). Desdobramento da qualidade no desenvolvimento de filmes flexíveis para embalagens. *Polímeros*, 13, 87-94.
- [12] Kanai, T., Campbell, G. (Eds.) (2014). Film processing advances. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.
- [13] Yuksekkalayci, C., Yilmazer, U., Orbey, N. (1999). Effects of nucleating agent and processing conditions on the mechanical, thermal, and optical properties of biaxially oriented polypropylene films. *Polymer Engineering & Science*, 39(7), 1216-1222.

[14] Chiuyari Lino, J.A. (2019). Descripción de actividades para asegurar el control de calidad en las películas plásticas producidas en la Empresa Oppfilm Perú SA.

[15] Sulplast a 25 de junho de 2020 em [http://www.sulplast.com.br/pt\\_BR/tecnologia-e-processos/termoplastico/extrusao](http://www.sulplast.com.br/pt_BR/tecnologia-e-processos/termoplastico/extrusao)

[16] Informação disponibilizada pela empresa Poligal.

[17] Kauling, A.P. (2014). Modificação da superfície do polipropileno por imersão em plasma de baixa energia. Tese de Mestrado em Biotecnologia, Universidade de Caxias do Sul, Brasil.

[18] Rodrigues, M.S.F. (2016). Caracterização de filme PP cast em extrusão monocamada e coextrusão. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho, Portugal.

[19] JSW a 20 de agosto de 2021 em [https://www.jsw.co.jp/en/product/plastics\\_machinery/film/winder.html](https://www.jsw.co.jp/en/product/plastics_machinery/film/winder.html)

[20] Briston, J. (1992). Advances in Plastics Packaging Technology. Pira International.