

OTIMIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS PARA PET FOOD

Otávio Augusto Longhi Schönhofen¹

Josiane da Rocha Silvano Neves²

Resumo: Um dos fatores críticos para indústrias do ramo de embalagens flexíveis são os requisitos quanto à resistência mecânica, os quais são avaliados através de ensaios mecânicos e *droptests* (Ensaio de queda livre). Estes ensaios buscam avaliar possíveis falhas estruturais das embalagens e simular situações reais, as quais podem estar comprometendo a integridade do produto envazado. Com a constante demanda do mercado por embalagens seguras e de alta qualidade, é necessário o aprimoramento contínuo das mesmas. Este trabalho buscou por meio de uma pesquisa de mercado estabelecer novos padrões visando à melhoria das propriedades mecânicas baseando-se em *droptests*. Através desta pesquisa, foram coletadas amostras com estrutura semelhante (PE *matte* externo+PET+PE interno), porém de diferentes fornecedores. E com a realização de ensaios laboratoriais (*droptests*, Força de Ruptura, Alongamento Percentual, Coeficiente de Fricção, e inspeção visual) foram estabelecidos novos padrões a serem seguidos. Inicialmente, as embalagens atuais da empresa foram reprovadas nos ensaios de queda livre, e possuíam baixa elasticidade, bem como irregularidades nas soldas e em seu COF, quando comparados com as contraprovas. Com uma redução de 20% de PEAD da composição da camada externa (PE *matte*) e adição de 5% de aditivo deslizante na camada interna (PE), na etapa de extrusão, foi possível a obtenção de soldas uniformes, melhora da elasticidade, e principalmente a aprovação nos testes de queda livre, bem como a aproximação dos valores aos padrões estabelecidos. O novo modelo de embalagem, obtido através das alterações efetuadas no processo produtivo, foi adotado pela empresa.

Palavras-Chave: Filmes flexíveis. Propriedades mecânicas. Droptests.

1 INTRODUÇÃO

Com o constante avanço tecnológico e evolução da indústria de polímeros sintéticos, o plástico tem-se tornado uma matéria-prima fundamental para a sociedade moderna. Tal fato explica-se por este material possuir características

¹ Graduando em Engenharia Química. 2021-2 E-mail: TavioALSN@gmail.com

² Professora do Centro Universitário UniSATC E-mail: josiane.neves@satc.edu.br

como sua alta viabilidade econômica e vasta empregabilidade nos mais diversos setores.

Conseqüentemente, a utilização de polímeros na indústria de embalagens, rígidas ou flexíveis, para alimentos revolucionou o mercado.

Tendo em vista que as embalagens alimentícias possuem a função de impedir ou dificultar o contato de agentes externos que possam interferir na qualidade do produto envazado. Os polímeros tornaram-se uma solução viável para esta funcionalidade, assim garantindo: maior produtividade, baixos custos de produção, assepsia, cumprimento de requisitos técnicos, e uma maior vida-de-prateleira para os produtos (PIVA, 2014).

O vigente trabalho tem como foco o ramo das embalagens flexíveis, as quais podem ser compostas por um (monocamada) ou mais (multicamadas) substratos de diferentes filmes extrusados. Sendo um dos ramos mais inovadores da atualidade, em consequência de uma grande competitividade, há uma constante exigência dos clientes quanto ao cumprimento de requisitos técnicos estabelecidos pelos mesmos.

Um dos fatores críticos para indústrias deste segmento são os requisitos quanto à resistência mecânica, os quais são avaliados através de ensaios mecânicos e *droptests*. Estes ensaios buscam avaliar possíveis falhas estruturais das embalagens e simular situações reais, as quais podem estar comprometendo a integridade do produto envazado.

Uma das empresas que continuamente se destaca no mercado de embalagens flexíveis é a Canguru Embalagens que, com mais de 50 anos de história, mantém-se líder do segmento na América Latina. Como política integrada da empresa, tem-se o foco de conquistar e manter clientes, produzindo embalagens seguras e de qualidade.

Recentemente, devido às demandas do mercado a empresa buscou aprimorar a resistência mecânica das suas embalagens *pet food* através do estabelecimento de um novo padrão, baseando-se nos resultados de *Droptest*.

Portanto, este estudo buscou aprimorar e alcançar estes requisitos. Foram realizados ensaios comparativos para uma análise do processo produtivo, bem como sua otimização, visando, assim, à minimização de custos e uma melhora na eficiência do produto final.

O trabalho tem como objetivo aperfeiçoar as propriedades mecânicas de embalagens *pet food*, realizando alterações nas principais etapas do processo produtivo, para o cumprimento das especificações através de testes comparativos. Analisar as diferentes variáveis a serem estudadas, tais como: alongamento, força de ruptura, COF e selagem. Avaliar o efeito da composição do material a ser extrusado (PE e PE *matte*) sobre a resistência mecânica e elasticidade do produto. Estabelecer uma “rampa de selagem” no processo de acabamento, se necessário, adequando as variáveis de pressão e temperatura ao material utilizado. Selecionar as melhores formulações de acordo com ensaios mecânicos para executar o *droptest*.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 EMBALAGENS PLÁSTICAS FLEXÍVEIS

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Flexíveis (ABIEF), define-se que as embalagens plásticas flexíveis são aquelas as quais o formato depende da forma física do produto acondicionado e cuja espessura é inferior a 250 μm .

Portanto, a ABIEF (2021) cita que nesta classificação, encaixam-se:

Sacos ou sacarias, *pouches*, envoltórios fechados por torção e/ou grampos, tripas, *stand-up-pouches* (*pouches* auto-sustentáveis), bandejas flexíveis que se conformam ao produto, filmes encolhíveis (*shrink*) para envoltórios ou para unitização, filmes esticáveis (*stretch*) para envoltório ou para amarração de carga na paletização, sacos de ráfica e etc. Tais materiais também incluem selos termosseláveis, rótulos e etiquetas plásticas.

Os materiais flexíveis destacam-se pela reação otimizada entre a massa de embalagem e a quantidade de produto acondicionado, bem como a flexibilidade que oferecem ao dimensionamento de suas propriedades, as quais podem variar devido a uma gama de fatores.

Tais fatores são listados por SARANTÓPOULOS et al.(2002, p.15):

Número de camadas que compõem a estrutura (filmes mono ou multicamadas); Tipos de materiais utilizados na estrutura: plásticos, adesivos, folha de alumínio, filmes metalizados, papel; Tipo de material utilizado em cada camada: sua estrutura química, estrutura molecular, grade, composição em aditivos, composição em blendas poliméricas (mistura mecânica de duas ou mais resinas); Espessura total e parcial dos materiais que compõem a estrutura do filme flexível; Processo de obtenção do filme, por extrusão ou coextrusão, com estiramento ou não, com termoestabilização ou não, tipo de laminação, aplicação de revestimento, etc.

Diante desta abundância de possibilidades, é possível construir estruturas de embalagens flexíveis específicas para diferentes aplicações, tendo em vista o nível de proteção exigido pelo produto a ser acondicionado, o desempenho esperado na máquina de acondicionamento, a resistência necessária às solicitações do sistema de distribuição e etc. (JORGE, 2013).

Dentre os principais atrativos deste tipo de embalagem está a possibilidade de combinar materiais distintos para a obtenção de propriedades balanceadas, que atendam os requisitos econômicos, ambientais e de conservação e comercialização dos produtos. Portanto esta é uma das grandes vantagens competitivas das embalagens plásticas flexíveis (MARCONDES, 2019).

Os filmes flexíveis utilizados para a produção de embalagens podem ser classificados pela sua estrutura, possuindo assim duas principais denominações: monocamadas e multicamadas. (JORGE, 2013).

Os monocamadas são aqueles fabricados pela simples extrusão de apenas um material plástico. Os filmes flexíveis multicamadas, por sua vez, são constituídos pela combinação de diferentes materiais e substratos, este tipo de estrutura pode ser obtido através de processos como revestimento, laminação e coextrusão (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

Atualmente as embalagens flexíveis multicamadas são predominantes no ramo de *pet food*, isso se deve à versatilidade na integração de propriedades de materiais termoplásticos distintos. Devido à combinação de características como a alta resistência mecânica, barreira ao vapor d'água e barreira à gordura, as estruturas multicamadas são as mais utilizadas no acondicionamento de alimentos secos e semiúmidos. (OLIVEIRA; TEIXEIRA; FIDELIS; 2011).

2.2 POLÍMEROS

Um polímero, segundo a IUPAC, pode ser definido como uma substância composta por macromoléculas que são caracterizadas por múltiplas repetições de uma ou mais espécies de grupos de átomos (chamados de monômeros ou unidades estruturais) ligadas entre si através de ligações covalentes. Estas ligações favorecem uma grande estabilidade físico-química, possibilitando a formação de cadeias longas e conseqüentemente compostos de alta massa molar.

As propriedades e aplicações de um polímero são altamente dependentes de sua natureza física e química. Muitas das propriedades são conseqüentes do comprimento de sua cadeia, ou seja, sua massa molecular (IUPAC, 2021).

PIVA (2014, p.20) destaca que:

Embora a estrutura química do polímero seja igual, pesos moleculares diferentes podem mudar completamente as propriedades do polímero, interferindo nas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, reológicas, e processamento, e por esta razão, os polímeros são caracterizados principalmente por seu peso molecular.

Em conseqüência dos estudos e grandes avanços tecnológicos, os polímeros possibilitaram uma revolução para o mercado de embalagens flexíveis com o advento das resinas termoplásticas (MARCONDES, 2019).

As resinas termoplásticas são caracterizadas pela capacidade de amolecer e fluir quando sujeitadas a determinado aumento de temperatura e pressão, tornando-se moldável. Esta alteração física é reversível, portanto, solidifica-se em formas definidas sem alteração significativa de suas propriedades (CANEVAROLO, 2013).

Os termoplásticos são macromoléculas as quais formam cadeias lineares, podendo apresentar ramificações. Tal descrição de um polímero linear pode ser representada por linhas e através de cadeias independentes (ROCHA, 2013).

Há uma grande variedade de resinas termoplásticas as quais podem ser transformadas em filme, tais como: polipropileno (PP), polietileno (PE), polietileno tereftalato (PET), nylon (PA), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), entre outras. As resinas que possuem maior volume de participação neste mercado são o PP, PE e PET (MARCONDES, 2019).

2.2.1 Polietileno (PE)

O polietileno é um dos polímeros que possui a estrutura mais simples, e também a mais conhecida dentre os plásticos disponíveis no mercado. Sendo assim, são formados pela repetição do monômero etileno, sua cadeia molar é caracterizada pela alta regularidade e flexibilidade (MERGEN, 2013).

Apesar de possuir uma composição química a qual se mantém constante, o polietileno pode apresentar diferentes características devido a polimerização, densidade, reticulação etc. Mas de forma geral, estes polímeros possuem boa resistência química, são termo seláveis e proveem excelentes propriedades físicas (CRIPPA, 2006).

O parâmetro mais importante, o qual governa as propriedades desta resina termoplástica, é a densidade, portanto podem ser classificados como (HERNANDEZ, 2000):

- Polietileno de Alta Densidade (PEAD); 0,940 – 0,970 g/cm³;
- Polietileno de Média Densidade (PEMD); 0,926 – 0,939 g/ cm³;
- Polietileno de Baixa Densidade (PEBD); 0,915 – 0,940 g/ cm³;
- Polietileno de Baixa Densidade Linear (PEBDL); 0,915 – 0,926 g/ cm³;
- Polietileno de Muito Baixa Densidade; 0,890 – 0,915 g/ cm³;

2.2.2 Poli(tereftalato de etileno) (PET)

O poli(tereftalato de etileno), mais conhecido como PET e classificado como um termoplástico de poliéster, é amplamente utilizado nos segmentos de embalagens rígidas (garrafas e frascos) e flexíveis (filmes biorientados) (MARCONDES, 2011).

Os filmes biorientados de poliéster apresentam excelente barreira a aromas e gases, uma eficiente resistência química e a óleos e gorduras, boa resistência à tração, boa rigidez, alta estabilidade térmica e elevada transparência e brilho. Apesar desta gama de qualidades, estes filmes apresentam uma barreira mediana ao vapor da água (SARANTÓPOULOS et al., 2002).

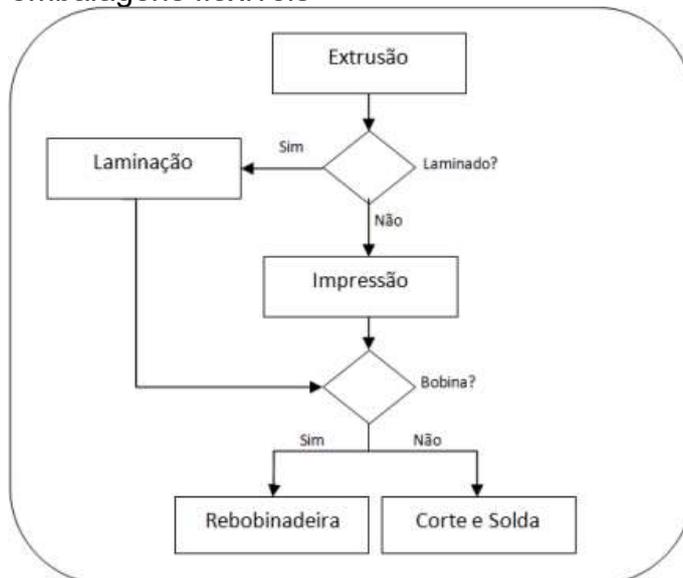
É também, muito comumente, o uso de filmes PET metalizados em embalagens para *pet food*, especialmente em rações *premium*, as quais requerem

maior proteção. A metalização do PET melhora as propriedades de barreira ao oxigênio e ao vapor da água, aumentando a vida útil do produto (OLIVEIRA; TEIXEIRA; FIDELIS; 2011).

2.3 PROCESSO PRODUTIVO

O processo produtivo em uma indústria de embalagens flexíveis pode ser descrito, de forma simplificada, através do fluxograma a seguir, presente na Fig. 1, demonstrando os diferentes setores envolvidos (PIVA, 2014):

Figura 1: Fluxograma do processo produtivo de embalagens flexíveis



Fonte: Adaptado de PIVA (2014).

Inicialmente é feita a extrusão dos filmes flexíveis para então serem encaminhados, se necessário, para o processo de laminação. Após isto, os filmes, processados conforme as especificações previamente estabelecidas, são levados até a etapa de acabamento, onde pode-se optar pela conformação dos filmes em bobinas, através da rebobinadeira, ou pelo formato de embalagens finalizadas, através do corte e solda.

As principais etapas abordadas por este trabalho são os processos de extrusão, corte e soldagem, bem como sua influência nas características estruturais das embalagens finalizadas. Estas etapas serão descritas detalhadamente a seguir.

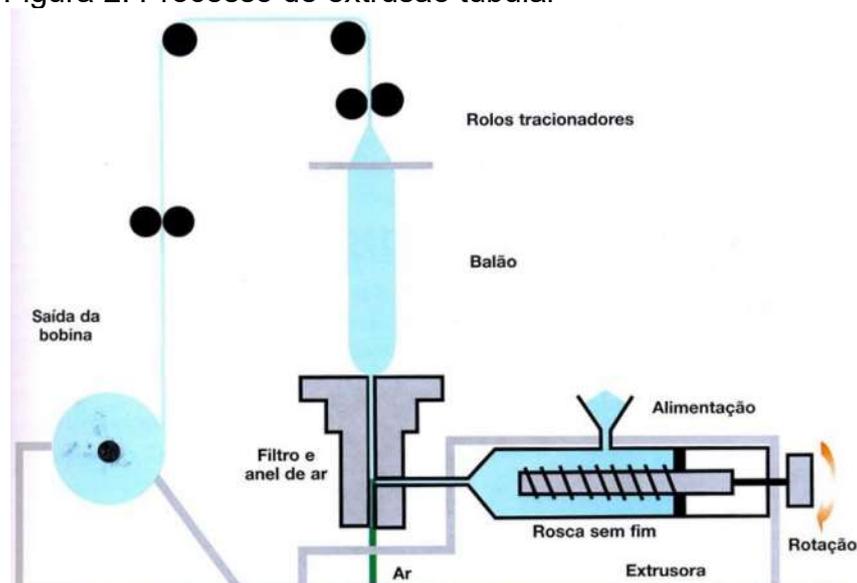
2.3.1 Coextrusão

A extrusão é o processo de transformação de resinas termoplásticas em filmes. Tal processo utiliza um equipamento denominado extrusora, a qual é constituída por um cilindro aquecido que, dentro dele, possui uma rosca giratória que transporta, mistura e plastifica os polímeros induzindo-os a passar por uma matriz para conformação. Após a passagem pelo molde o material é resfriado de modo a assegurar a estabilidade dimensional desejada (PAULA, 2011).

A coextrusão é caracterizada pela extrusão de duas ou mais camadas de resina e aditivos em uma mesma matriz, assim possuindo mais de uma rosca consequentemente. Este método permite a otimização das características de diferentes polímeros, minimizando a quantidade requisitada para desenvolver qualidades específicas no produto final, tais como: selagem, aderência, rigidez, resistência ao impacto, rasgo, perfuração, brilho, entre outras (CRIPPA, 2006).

Um dos processos amplamente empregados quando são requisitadas alta resistência mecânica e alto percentual de alongamento, no produto final, é o de extrusão tubular. Neste processo a matriz é circular, de modo a formar um balão, fazendo com que o filme seja estirado em direção axial à medida que o material emerge da matriz (PIVA, 2014). A Fig.2 representa esquematicamente o sistema de extrusão tubular:

Figura 2: Processo de extrusão tubular



Fonte: Adaptado de PIVA (2014).

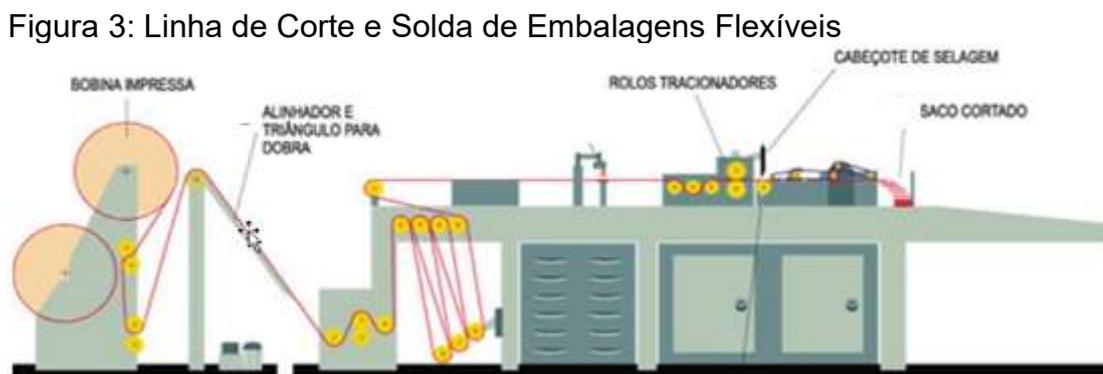
Existem diferentes tipos de processos tubulares: vertical ascendente, vertical descendente e o horizontal. Os filmes compostos por polietilenos de alta, baixa e linear de baixas densidades são produzidos exclusivamente pelo método tubular ascendente (PAULA, 2011).

2.3.2 Acabamento (Corte e Solda)

É a última etapa do processo produtivo na confecção de embalagens, a qual ocorre no equipamento conhecido como Corte e Solda. Neste estágio as embalagens são dobradas e soldadas, respeitando a formatação final desejada e definida em seu desenvolvimento.

O processo de soldagem de materiais plásticos se dá através da aplicação combinada de pressão e temperatura sobre duas peças, de materiais iguais ou muito semelhantes. As superfícies desta união devem ser levadas a um estado termoplástico para que a soldagem possa ser realizada. Então, com as superfícies aquecidas, serão unidas sob pressão e conseqüentemente resfriadas para que seja atingida a estabilidade em sua forma novamente (PIVA, 2014).

A Fig.3 representa, de forma simplificada, o processo de acabamento (corte e solda):



Fonte: Adaptado de PIVA(2014).

Após a etapa de impressão as bobinas são encaminhadas para o corte e solda, por onde passam por alinhadores os quais dobram a embalagem no formato determinado. A passagem do filme neste sistema é induzida pelos rolos

tracionadores presentes na máquina. Assim, o filme dobrado passa pelo cabeçote de selagem, onde são aplicadas as soldas com a ação combinada de pressão e temperatura. Por fim, as o filme é cortado obtendo-se as embalagens em seu formato finalizado (SCHRAMM, 2019).

2.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS EMBALAGENS FLEXÍVEIS

As propriedades mecânicas de filmes e embalagens flexíveis são diretamente associadas com seu desempenho nos equipamentos de conversão, nas linhas de acondicionamento e nas solicitações que são impostas pelas condições de distribuição e estocagem. Em estruturas multicamadas, as propriedades mecânicas do produto final dependem das propriedades individuais de cada camada que as compõe (SARANTOPOULOS, 2002).

Estas características dos materiais determinam a resposta às influências mecânicas externas, sendo associadas à capacidade de desenvolver diferentes deformações e apresentar resistência à fratura. Através da determinação destas propriedades é possível diagnosticar problemas em diferentes etapas do processo produtivo, bem como prever o desempenho e qualidade do produto em situações cotidianas (COLOMBO, 2019).

Alguns dos principais ensaios, comumente utilizados na indústria, para determinar este segmento de propriedades e que serão realizados no vigente trabalho são: alongamento e resistência à tração (a), coeficiente de fricção (b), e resistência ao impacto por queda livre (*Droptests*) (c) (DÁRIO, 2011).

a) Alongamento e resistência à tração: expressa a resistência dos materiais diante da deformação por alongamento quando submetidos à tração.

b) Coeficiente de fricção (COF): o conhecimento das propriedades de atrito e deslizamento das estruturas multicamadas tem alta importância em sua aplicação nas embalagens. Tal propriedade se relaciona ao desempenho do material perante as diversas etapas de conversão, fabricação, estocagem e transporte. O atrito dinâmico é de grande importância para o processamento em máquinas da linha de acabamento dos filmes, portanto, deve ser adequado à aplicação.

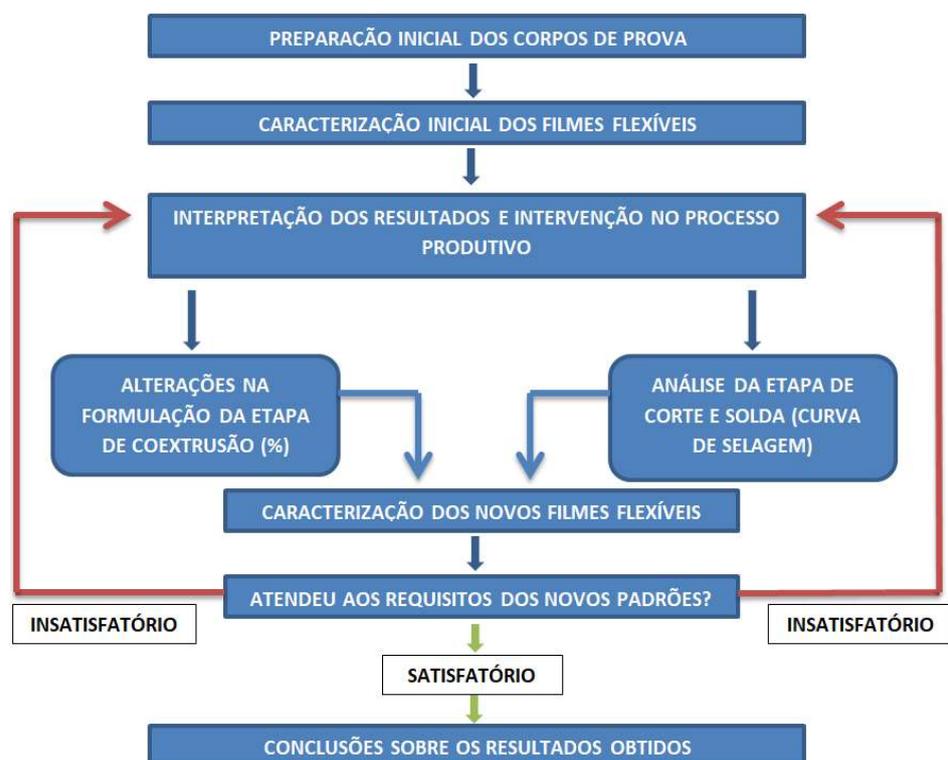
c) Resistência ao impacto por queda livre (*Droptests*): possibilita a avaliação do desempenho das embalagens durante o manuseio e distribuição. Serve como uma ferramenta de comparação de materiais, processos de conversão e formatos de embalagem. Também permite a avaliação das termossoldagens quanto a homogeneidade e resistência das mesmas.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os procedimentos experimentais para a concretização deste trabalho foram realizados na Empresa Canguru Embalagens Ltda., localizada em Criciúma Santa Catarina. Inicialmente foram comparados padrões, estabelecidos conforme pesquisas de mercado, e amostras através de ensaios realizados em laboratório.

Com a interpretação dos dados obtidos, foram realizados testes e acompanhamentos no processo produtivo visando à melhoria do produto e adequação aos padrões. Tal processo pode ser descrito através do fluxograma da Fig.4 a seguir:

Figura 4: Fluxograma dos Procedimentos Experimentais



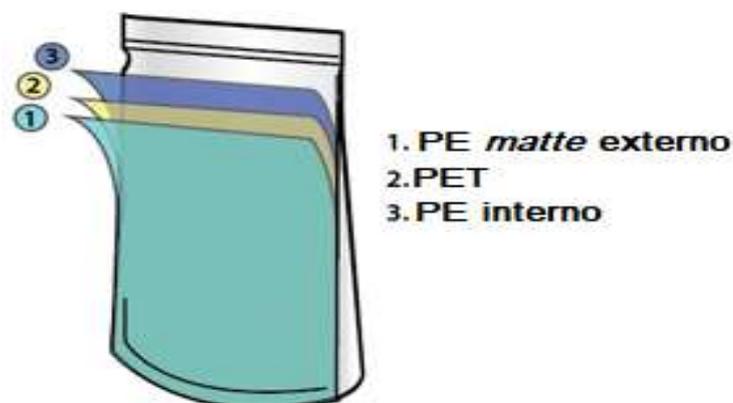
Fonte: do Autor (2021)

A seguir serão descritas detalhadamente as etapas necessárias, destacadas através do fluxograma, executadas para a realização do vigente trabalho.

3.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA (NOVOS PADRÕES E AMOSTRAS INICIAIS)

As embalagens de *pet food*, as quais foram otimizadas para os novos padrões, eram compostas por três diferentes camadas de filmes flexíveis unidas pelo processo de laminação, sendo assim descritas na seguinte ordem a partir do interior da embalagem: PE, PET, PE *matte*. Para facilitar a visualização, a estrutura utilizada é ilustrada na Fig. 5

Figura 5: Ilustração das camadas presentes na estrutura que compõem as embalagens estudadas.



Fonte: Adaptado de TradPrint (2021).

A Canguru Embalagens Ltda. extrusa ambos os filmes de polietileno da camada externa e interna. Porém o filme PET, que intermedia estas camadas, é adquirido através de fornecedores externos. Portanto os testes realizados têm como foco os filmes flexíveis de PE, os quais podem ser alterados e acompanhados no processo produtivo, além de possuírem o principal papel quanto à resistência mecânica, a qual é o foco do vigente trabalho.

As amostras iniciais, utilizadas para análises, foram obtidas na forma de embalagens finalizadas, sendo assim um representativo do produto como um todo.

Estas foram recortadas com base nos gabaritos requeridos para os diferentes testes, que foram necessários para a realização deste estudo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES FLEXÍVEIS

Foram realizados ensaios de laboratório com a finalidade de estudar as qualidades mecânicas dos filmes de polietileno produzidos pela empresa, e comparou-se com os novos padrões estabelecidos. Visou-se, através destas análises, identificar potenciais modificações a serem realizadas para alcançar os novos requisitos desejados. As características foram avaliadas através dos testes de: alongamento, resistência à tração, resistência ao impacto por queda livre (droptests) e coeficiente de atrito ou fricção (COF).

Todas análises foram realizadas em triplicata, a fim de possuir maior confiabilidade dos resultados, os resultados obtidos serão apresentados através da média dos valores.

3.2.1 Alongamento e Resistência à Tração

O alongamento e a resistência à tração foram determinados, com base na norma ASTM D882, utilizando a máquina de ensaio mecânico EMIC DL 500N, apresentada na Fig. 6. Os corpos de prova foram preparados através de recorte com auxílio de um gabarito. O equipamento utilizado (EMIC) é ligado à um microcomputador, o qual possui um software que gera automaticamente um relatório informando a força média exigida pelo ensaio expressa em Kgf e o percentual de alongamento dos corpos de prova.

Figura 6: Máquina de ensaios mecânicos EMIC DL 500N

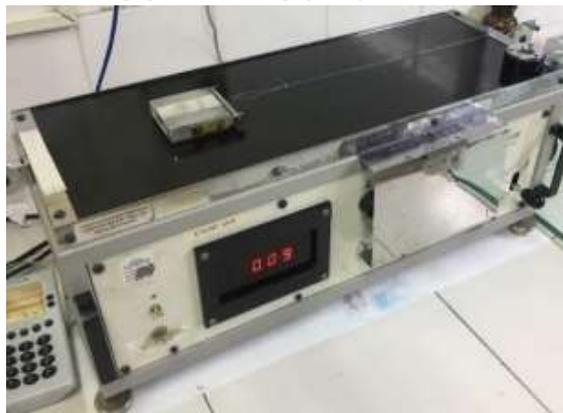


Fonte: do Autor (2021)

3.2.2 Coeficiente de Fricção- COF

A realização do ensaio que visa aferir o coeficiente de fricção (COF) baseou-se na norma ASTM D-1894, através do uso do equipamento DSM COF-3, apresentado na Fig.6. Utilizando-se uma velocidade de 150 mm/minuto e um contrapeso de 200g.

Figura 7: Equipamento utilizado para aferir o COF-DSM COF-3



Fonte: Do autor (2021).

Com o auxílio de gabaritos foram recortados corpos de prova para a realização deste ensaio. Uma das amostras foi colocada sobre o corpo do aparelho, enquanto outra amostra, menor, do mesmo filme foi fixada ao contrapeso. Zerou-se o equipamento e após isto acionou-se o aparelho até as partes móveis percorrem

1/3 da superfície do mesmo. A variação de COF foi aferida através do display presente no equipamento.

3.2.3 Resistência ao Impacto por Queda Livre (*droptests*)

O teste por resistência ao impacto por queda livre, ou *droptests*, tem por base a norma ASTM D5276. Para a preparação dos corpos de prova deste teste, as embalagens finalizadas foram preenchidas com ração padronizada visando simular as condições reais à que o produto final estará exposto.

Os corpos de prova foram suspensos a um metro de altura do chão, e então foram soltos provocando a queda livre dos mesmos. A Fig. 8 exemplifica tal metodologia:

Figura 8: Exemplo da metodologia usada para a realização dos ensaio de *droptest*.



Fonte: do Autor (2021).

Com cada amostra foram testadas diferentes faces da embalagem repetidamente (horizontal e vertical). Para este teste, têm-se os padrões avaliativos a seguir:

- BOM: A embalagem não rompe após 05 quedas de uma altura de 01 metro – Aprovado;

- **REGULAR:** A embalagem rompe após 04 quedas de uma altura de 01 metro – Aprovado, porém efetuar ajustes no processo produtivo;
- **RUIM:** A embalagem rompe após 03 quedas de uma altura de 01 metro – Reprovado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADO DO PROCESSO PRODUTIVO ATUAL

Inicialmente, através de uma pesquisa de mercado, foram selecionadas amostras de embalagens do mesmo produto, possuindo a mesma capacidade de armazenamento de *pet food* (15 Kg), porém de diferentes fornecedores.

De forma a padronizar o estudo das propriedades das mesmas, as amostras possuíam a mesma quantidade de camadas, e também, o mesmo tipo de estrutura: PE (interno), PET metalizado (meio), PE matte (externo).

Para que houvesse um maior embasamento quanto aos filmes plásticos produzidos pela empresa, foram selecionadas três amostras de diferentes lotes do mesmo produto. Também foram obtidas quatro contraprovas através da pesquisa, para uma ampla comparação.

A relação dos produtos selecionados, bem como suas especificações aferidas em laboratório, pode ser descrita através da Tab.1 a seguir:

Tabela 1: Numeração das amostras, e especificações das embalagens encontradas pela pesquisa de mercado.

| Amostra | Fornecedor | Espessura (micra) | Gramatura (g/m ²) |
|---------|----------------------------|-------------------|-------------------------------|
| 1 | Canguru (Lote: 1094452) | 320 | 159,47 |
| 2 | Canguru (Lote: 1092030) | 312 | 155,63 |
| 3 | Canguru (Lote: 1092023) | 306 | 156,75 |
| 4 | A | 320 | 146,51 |
| 5 | B | 320 | 160,61 |
| 6 | C | 350 | 174,58 |
| 7 | D | 300 | 143,94 |

Fonte: Do autor (2021)

A seguir, serão discutidos os resultados obtidos através das análises, possibilitando uma comparação precisa sobre os padrões aos quais foram estabelecidos para a execução do vigente trabalho.

4.1.1 Ensaio de *Droptests* Atuais

Após a seleção das amostras, foi realizado o principal ensaio, o *droptest*, o qual serve como principal representativo das condições e qualidades mecânicas do produto. A seguir, na Tab. 2, são descritos a quantidade de quedas antes da ruptura, e se apresentam aprovação conforme os requisitos pré-estabelecidos:

Tabela 2: Resultados dos *droptests* iniciais.

| Amostr a | Número de quedas em posição | | Resultado do teste |
|-------------|-----------------------------|----------------------|--------------------|
| | horizontal | posição vertical | |
| 1 | Resistiu | Falhou após 1 queda | Reprovado |
| 2 | Resistiu | Falhou após 1 queda | Reprovado |
| 3 | Resistiu | Falhou após 1 queda | Reprovado |
| 4 | Resistiu | Resistiu | Aprovado |
| 5 | Resistiu | Falhou após 2 quedas | Reprovado |
| 6 | Resistiu | Resistiu | Aprovado |
| 7 | Resistiu | Resistiu | Aprovado |

Fonte: Do autor (2021).

Todas as amostras apresentaram alto desempenho nos ensaios de impacto por queda livre com a embalagem posicionada horizontalmente, assim resistindo às cinco quedas estabelecidas.

Porém, nos *droptests*, com o produto posicionado verticalmente, verificou-se a reprovação de todas as amostras produzidas pela Empresa, assim evidenciando a necessidade de um aprimoramento focado no cumprimento de exigências quanto à resistência mecânica do produto final.

Observou-se também a reprovação da contraprova 5 no teste vertical, a qual apresentou ruptura após duas quedas. Portanto, desconsiderou-se esta

amostra para o fim de estabelecimento dos novos padrões. Serão discutidas, através da caracterização dos filmes flexíveis, possíveis causas que acarretaram a reprovação da mesma.

Os testes, realizados a seguir, serviram como base para determinar medidas necessárias para solucionar os problemas que acarretam a reprovação destas embalagens nos *droptests*.

4.1.2 Caracterização dos Filmes Flexíveis Atuais

A Tab. 3 apresenta os resultados da caracterização das estruturas multicamadas e suas soldas, possibilitando um embasamento completo sobre o produto finalizado.

Tabela 3: Caracterização dos filmes flexíveis atuais

| Análise | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Força de Ruptura DM (Kgf) | 13,3 | 12,7 | 12,1 | 12,8 | 13,5 | 15,0 | 13,4 |
| Alongamento DM (%) | 123 | 129 | 137 | 121 | 122 | 90 | 115 |
| Força de Ruptura DT (Kgf) | 12,6 | 12,8 | 12,0 | 10,9 | 13,8 | 13,4 | 12,8 |
| Alongamento DT % | 98 | 99 | 89 | 110 | 107 | 115 | 120 |
| Força de Ruptura Solda (Kgf) | 5,0 | 4,8 | 5,3 | 6,2 | 5,1 | 7,5 | 6,9 |
| COF Externo | 0,52 | 0,52 | 0,56 | 0,45 | 0,48 | 0,46 | 0,42 |
| COF Interno | 0,35 | 0,33 | 0,36 | 0,25 | 0,28 | 0,27 | 0,28 |

Fonte: Do autor (2021).

De forma geral, as estruturas multicamadas produzidas pela empresa (amostras 1, 2 e 3) apresentaram resultados semelhantes às contraprovas (4, 5, 6 e 7) nos testes de força de ruptura das duas direções da estrutura (DM e DT).

Quanto às análises de alongamento, as amostras externas possuíram resultados melhores na direção transversal (DT), indicando maior resistência e elasticidade, sendo estas qualidades fundamentais para o produto finalizado.

Na caracterização dos filmes flexíveis, os testes que mais apresentaram disparidade nos valores, foram os de força de ruptura das soldas das embalagens. Observou-se uma redução de aproximadamente 27% em relação à força de ruptura das soldas das embalagens produzidas atualmente e das amostras encontradas no mercado, ou seja, a média da força de ruptura da solda do processo atual teve um resultado de 5,0 Kgf enquanto as contraprovas apresentaram uma média de 6,7 Kgf.

Observou-se, também, que uma das possíveis causas para a reprovação da amostra 5 nos *droptests*, foi a baixa resistência de suas soldas, possuindo valor de força de ruptura abaixo da média das amostras 4,6 e 7.

As soldas das embalagens fabricadas atualmente, através de inspeção visual, apresentaram desuniformidades, bem como a presença de serrilhados em sua composição. A seguir na Fig.9 são detalhados a comparação entre o padrão ideal presente nas contraprovas e os irregulares presentes no produto atualmente.

Figura 9: Comparativo de soldas (à esquerda: padrão de soldas uniformes e ideais; À direita: soldas encontradas nas embalagens atuais).



Fonte: Do autor (2021).

Com o auxílio de uma régua, foram também efetuadas medições do tamanho das soldas laterais ao longo da embalagem. Averiguou-se uma alta oscilação na largura das soldas. Estes fatores estão diretamente relacionados com os resultados obtidos, os quais serão discutidos a seguir.

Um dos fatores, também analisado, o qual pode ter ocasionado a irregularidade nas soldas, foi o COF. Esta variável é fundamental para o processamento dos filmes flexíveis nas etapas finais (Corte e Solda) e foram observadas disparidades quando comparados com as contraprovas.

Portanto, concluiu-se que as embalagens flexíveis dos lotes coletados possuem menor elasticidade em suas camadas e apresentam menor alongamento,

quando submetidas ao estresse físico. Além de possuírem soldagem irregular, comprometendo diretamente na qualidade do produto.

Com as informações e ensaios, verifica-se que o rompimento das soldas não é ocasionado por baixa selagem ou uso de valores inadequados de temperatura e pressão na etapa de soldagem. Trata-se de uma oscilação pontual na força de delaminação associada à condição de variação do tamanho das soldas, onde ao romper-se por esforço, a camada interna de polietileno torna-se mais suscetível a estourar.

Após o empacotamento e os esforços exercidos sobre o produto, ao longo do processo, ocorre grande estresse físico sobre a camada de polietileno interna selante e este se desprende da face PET e PE *matte*, onde então rompe ou gera abertura da região das soldas por esforço (alongamento e ruptura).

Com os resultados obtidos, foram realizadas as modificações para a melhoria das embalagens. Tais ajustes foram baseados na pesquisa bibliográfica do trabalho. As modificações feitas foram:

- Alterações nas porcentagens (%) da composição de material coextrusado, visto que o polietileno possui uma gama de caracterizações que fornecem propriedades físicas distintas. Portanto pode-se testar a variação das porcentagens de determinado material e a influência sobre o produto final;
- Análise da etapa de corte e solda: observar a eficiência das soldas do material que compõe as embalagens, podendo-se observar a influência do COF sobre o processamento das mesmas. E se necessário, estudar uma nova curva de soldagem, estabelecendo condições ideais de pressão e temperatura a qual o material deve estar exposto nesta etapa do processo.

Para a correção e melhoria foi proposto, através da média aritmética dos resultados obtidos, um novo padrão de valores e uma adequação à dos próximos lotes à mesma. O padrão idealizado é descrito na tabela a seguir:

Tabela 4: Comparativo das embalagens atuais (1,2,3) e padrão estabelecido (4,6,7)

| Análise | Média dos lotes atuais (1,2,3) | Média contraprovas–Novo Padrão (4,6,7) |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|
| Força de Ruptura DM (KgF) | 12,7 | 13,7 |
| Alongamento DM (%) | 129 | 108 |
| Força de Ruptura DT (KgF) | 12,5 | 12,3 |
| Alongamento DT(%) | 95 | 115 |
| Força de Ruptura das Soldas (KgF) | 5,0 | 6,8 |
| COF Externo | 0,53 | 0,44 |
| COF Interno | 0,35 | 0,26 |

Fonte: Do autor(2021).

Para que fossem atingidos os valores desejados, foi proposta a redução de 20% do teor de resina PEAD da composição total da camada externa de PE, a qual possui alto teor de PEAD, possibilitando uma mudança significativa na elasticidade e resistência mecânica da embalagem. Esta medida foi tomada com base no fundamento de que os polietilenos de diferentes densidades possuem diferentes características.

Segundo SARANTOPOULOS *et. al*, quanto maior a densidade de um polietileno, maior será sua rigidez, e menor serão suas características de: resistência ao impacto, alongamento na ruptura, resistência ao rasgamento. Portanto, reduziu-se o teor de PEAD da composição do filme extrusado.

Quanto às soldas propôs-se que tais irregularidades foram causadas pelo mau processamento dos filmes plásticos nas etapas de corte e solda, este sendo ocasionado pelo COF irregular das camadas da estrutura. Portanto foi incorporado 15% a mais de aditivo *slip* (deslizante) à composição do filme PE interno que compõe a embalagem, com a finalidade de melhorar o processamento nas etapas descritas. Os deslizantes modificam propriedades da superfície dos filmes e reduzem a fricção entre o mesmo e outras superfícies de contato.

Os valores estabelecidos para as modificações foram baseados em testes realizados anteriormente pela empresa. Portanto, foi sugerido, através da

experiência fabril, que tais porcentagens (redução de 20% de PEAD da camada externa, e aumento de 15% de aditivo da camada interna) apresentariam a modificação significativa e necessária para que fossem atingidos os valores estabelecidos pelos novos padrões.

Após a realização destas modificações, as embalagens finalizadas foram caracterizadas e comparadas para uma discussão dos resultados obtidos.

4.2 RESULTADO DO PROCESSO PRODUTIVO PROPOSTO

As modificações citadas anteriormente foram, então, aplicadas ao processo produtivo, e o mesmo foi acompanhado para o levantamento de possíveis observações e correções. Após isto, os novos filmes flexíveis obtidos foram submetidos aos ensaios descritos anteriormente.

4.2.1 Ensaio de *Droptests*

Nos ensaios de *droptests*, todos os corpos de prova das novas embalagens foram aprovados, assim resistindo à todas as quedas, as quais foram submetidos, em ambos os posicionamentos requisitados pelo teste (horizontal e vertical).

Apesar dos ensaios de resistência à queda livre serem o ponto crucial para a aprovação do produto, também foram realizadas análises para um comparativo aprofundado a fim de discutir os motivos aos quais levaram à resultados satisfatórios nos *droptests*. Tal comparativo é descrito a seguir.

4.2.2 Caracterização dos Filmes Flexíveis Obtidos

Os resultados obtidos, através do estudo dos novos filmes flexíveis, são demonstrados através de um comparativo, com os novos padrões estabelecidos, na tabela a seguir:

Tabela 5: Comparativo dos padrões estabelecidos com as novas amostras

| Análises | Filmes flexíveis antes da | Novo Padrão | Filmes flexíveis após |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------|--------------------------------------|
| | intervenção no processo produtivo | | intervenção no processo produtivo |
| Força de Ruptura DM (Kgf) | 12,7 | $\geq 13,7$ | 14,1 |
| Alongamento DM (%) | 129 | ≥ 108 | 154 |
| Força de Ruptura DT (Kgf) | 12,5 | $\geq 12,3$ | 11,9 |
| Alongamento DT(%) | 95 | ≥ 115 | 111 |
| Força de Ruptura das Soldas (Kgf) | 5,0 | $\geq 6,8$ | 6,4 |
| COF Externo | 0,53 | 0,44 | 0,46 |
| COF Interno | 0,35 | 0,26 | 0,29 |

Fonte: Do autor (2021).

Averigua-se que, de forma geral, com a produção dos novos filmes flexíveis, após a mudança de sua formulação e o acompanhamento do processo produtivo, obteve-se resultados muito próximos aos estabelecidos pelo novo padrão, refletindo assim seu êxito nos *droptests*. Destaca-se que todos os valores obtidos, apesar de suas diferenças, cumprem as margens de tolerância.

Características como a força de ruptura e o alongamento no sentido de máquina (DM), apresentaram valores superiores aos estabelecidos. Porém no sentido transversal (DT), obteve-se uma melhoria de 16% no alongamento (95% para 111%) e uma redução, dentro dos limites toleráveis, de aproximadamente 5% de sua força de ruptura (12,5 Kgf para 11,9 Kgf).

Nos ensaios de força de ruptura das soldas houve uma melhora relevante em seus resultados, aproximando-se dos limites toleráveis ao novo padrão, possuindo assim valores 28% acima dos analisados inicialmente, ou seja, de 5,0 para 6,4 Kgf.

Houve também, grande aproximação dos valores de COF, o qual possibilitou o processamento eficiente nas etapas da produção. Através da inspeção visual do processo e das embalagens finalizadas, foi verificada a uniformidade das

soldas em seu comprimento e aspecto, assim como nas contraprovas. Tal melhoria pode ser atribuída à valores adequados de COF.

5 CONCLUSÕES

Através das modificações realizadas, foi possível atingir valores próximos aos estabelecidos pelos padrões determinados pela pesquisa de mercado. Tais resultados apresentaram-se satisfatórios, visto a aprovação obtida no ensaio de resistência à queda livre, o qual é o principal representativo da qualidade do produto finalizado.

Por meio da redução de 20% do teor de PEAD na etapa de extrusão da camada externa da embalagem (PE matte), realizou-se uma melhoria significativa na elasticidade dos filmes flexíveis e seu COF, bem como o aumento de seu alongamento e força de ruptura. E na camada interna (PE), com a adição de 5% de agente deslizante (slip) à composição, possibilitou-se a melhoria e adequação de seu COF. Portanto verificou-se a influência de diferentes polímeros e aditivos sob a qualidade das embalagens finalizadas.

Concluiu-se, também, que as soldas irregulares presentes nos primeiros lotes eram o principal fator que acarretava a reprovação nos *droptests*. A nova fórmula extrusada possibilitou a correção dos valores de coeficiente de fricção, facilitando o processamento dos filmes flexíveis nas etapas de corte e solda, e obtiveram-se soldas uniformes.

O trabalho ressalta a importância do conhecimento do processo produtivo e seu estudo aprofundado, o qual torna possível o aprimoramento eficiente de qualidades desejadas nas embalagens flexíveis. As análises realizadas possibilitaram o diagnóstico preciso quanto às modificações necessárias a serem executadas.

Com os resultados obtidos, este novo modelo de embalagem, então obtido, além de possuir alta eficiência e segurança, apresentou-se viável economicamente, mantendo seu custo inicial, portanto foi adotado pela empresa.

REFERÊNCIAS

ABIEF. **Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis**. Disponível em: <<http://www.abief.org.br/associados-por-area#:~:text=A%20EMBALAGEM%20PL%C3%81STICA%20FLEX%C3%8DVEL,%C3%A9%20inferior%20a%20250%20micras.&text=Os%20materiais%20flex%C3%A Dveis%20incluem%2C%20ainda,fechamento%2C%20r%C3%B3tulos%20e%20etiquetas%20pl%C3%A1sticas>>. Acesso em: 15 de Abril de 2021.

CANEVAROLO JÚNIOR, Sebastião Vicente. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 280 p.

COLOMBO, Luiz Bonifácio. **Análise comparativa do consumo de pigmento branco com diferentes concentrações de dióxido de titânio, no processo de extrusão de filmes flexíveis**. 2019. 25f. Artigo (Engenharia Química), UNISATC, Criciúma, 2019.

CRIPPA, Agnaldo. **Estudo do desempenho de filmes multicamadas em embalagens termoformadas**. 2006. 151f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia. Área de Concentração: Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DÁRIO, Cristina Peruchi. **Avaliação das propriedades de barreira a gordura em função da redução de espessura em embalagem flexível destinada a pet food**. 2011. 61 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2011.

HERNANDEZ, R. J.; SELKE, S. E. M.; CULTER, J. D. **Plastics packaging: properties, processing, applications, and regulations**. Munich: Hanser Gardner, 2000.

IUPAC. International Union of Pure and Applied Chemistry. **What are polymers?**. Disponível em: <<https://iupac.org/polymer-edu/what-are-polymers/#:~:text=Polymers%20are%20substances%20composed%20of,as%20millions%20of%20grams%2Fmole>>. Acesso em: 15 de Abril de 2021.

JORGE, Neuza. **Embalagens para alimentos / Neuza Jorge**. – São Paulo : Cultura Acadêmica : Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013. 194 p.

MARCONDES, Claudio. Filmes e embalagens flexíveis. In: ASSUNTA NAPOLITANO CAMILO (São Paulo). Instituto de Embalagens. **Embalagens Plásticas: Embalagem melhor: Mundo melhor**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2019. Un. 3.1. p. 193-206.

MARCONDES, Claudio. Polímeros e aplicações em embalagens. In: ASSUNTA NAPOLITANO CAMILO (São Paulo). Instituto de Embalagens. **Embalagens: design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2011. Cap. 15. p. 124-145.

MERGEN, I. Z. **Estudo da perda de vácuo em embalagens multicamada para produtos cárneos curados**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

OLIVEIRA, L. M.; TEIXEIRA, F.G.; FIDELIS, D.; (2011). **Embalagens plásticas para PET FOOD: Relação entre Qualidade e Proteção**, vol 23 (nº 2). 7p.

PAULA, Antonio Andrade de. Transformação: extrusão. In: ASSUNTA NAPOLITANO CAMILO (São Paulo). Instituto de Embalagens. **Embalagens: design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2011. Cap. 33. p. 239-242.

PIVA, Alex Cardoso. **Caracterização de aditivos em filmes flexíveis de polietileno**. 2014. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

ROCHA, César Augusto; SILVA, Elton de Freitas; SOUZA, Roberta Cristina Carvalho de. **Polímero de entretenimento: uma macromolécula biodegradável**. Monografia (Bacharelado em Química), UNISALESIANO, Lins, São Paulo, 2013.

SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; OLIVEIRA, L. M.; PADULA, M.; COLTRO, L.; ALVES, R. M.V. & Garcia, E. E. C. **Embalagens plásticas flexíveis – principais polímeros e avaliação de propriedades**, CETEA/ITAL, Campinas (2002).

SCHRAMM, Alexandra Mara. **Identificação dos resíduos gerados em cada etapa do processo produtivo da indústria de embalagens flexíveis para a correta destinação**. 2018. 33. Monografia (Especialização), Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Especialização MBA em Gestão Ambiental. Curitiba, 2018.

TRADPRINT **Standup pouches** Disponível em:
<https://www.gualapack.com.br/tudo_sobre_sup1.html>. Acesso em: 01 de dezembro de 2021.
