

# Estudo comparativo de embalagens flexíveis laminadas versus coextrusadas

Géssica Cristina de Lima Lino  
Thiago Henrique de Lima Lino

Caroline Maria Calliari

## 1 Introdução

Embalagem é todo recipiente que armazena produtos por um tempo determinado, utilizada para agrupar o produto em unidades menores ou desejáveis, visando melhor qualidade no transporte, manipulação e armazenamento, diminuindo prejuízos. É considerada de fundamental importância, principalmente para os alimentos, pois tem como função proteger, informar e armazenar (BRASIL, 2001).

As embalagens flexíveis são confeccionadas com materiais básicos maleáveis, como o papel, celofane, filmes plásticos, *nylon*, finas folhas de alumínio ou com combinações de dois ou mais desses materiais, formando estruturas mais complexas que podem atender as necessidades do produto a ser embalado. Sua utilização abrange as indústrias: alimentícias, farmacêuticas, de cosméticos, de fertilizantes, entre muitas outras (COLANERI; GARCIA, 2007).

O estudo de suas propriedades mecânicas possibilita criar uma alternativa no processo de extensão de vida útil do produto, uma vez que determinados produtos envasados se deterioram mais facilmente que outros, sob as mesmas condições de armazenamento (CRIPPA, 2006). A mistura de dois ou mais materiais na embalagem apresentam propriedades mecânicas e físicas superiores às de cada componente individual. Podem-se desenvolver combinações de materiais com propriedades distintas que atendam cada caso, definindo a quantidade quase exata de cada material, evitando o excesso de embalagem e garantindo a proteção do alimento (CRUZ, 2013).

A degradação de lipídios, por exemplo, pode ser ocasionada por oxidação e é a mais frequente causa de deterioração de componentes biológicos impor-

tantes dos alimentos, que alteram propriedades como qualidade sensorial, valor nutricional, funcionalidade e toxicidade. Nos alimentos, o efeito oxidativo mais comum se dá pelo contato com o oxigênio por furos, rasgos ou até mesmo falhas nas soldas das embalagens (POUZADA; ANDRADE; CASTRO, 2003).

As consequências de filmes poliméricos pouco resistentes podem ocasionar avarias nas embalagens comprometendo os produtos embalados, acarretando em devoluções. Caso a avaria ocorra no estabelecimento de revenda, o produto pode ser rejeitado pelos consumidores, gerando desperdício e podendo prejudicar a imagem da empresa. As propriedades mecânicas do filme, como resistência à propagação do rasgo e à queda, tração no escoamento e na ruptura, estão relacionadas com a resistência ao abuso do manuseio: quanto maiores forem as propriedades mecânicas do filme, mais resistente será a embalagem. Já as propriedades de tração são úteis para identificação e caracterização de filmes flexíveis, com aplicação no desenvolvimento, na especificação e na avaliação da qualidade desses materiais (ASTM, 2012).

Esta pesquisa teve por objetivo estudar e diferenciar as embalagens flexíveis de PET/PE (Politereftalato de etileno/Polietileno) obtidas por laminação e por coextrusão.

## 2 Embalagem

As embalagens possuem algumas funções em todo o ciclo de vida do produto. Cada função aborda diferentes aspectos ligados à segurança, sendo o preparativo de bens e produtos para o transporte, distribuição, armazenamento, informação, venda e posteriormente para o consumo final. Com o intuito de prolongar a vida útil e manter todas as características do produto, as embalagens devem oferecer proteção de acordo com as necessidades do artigo a ser embalado, devem conter barreira aos gases, ao vapor de água e à luz. As embalagens devem apresentar resistências mecânica e térmica e outras características específicas quando necessárias. Atuam também como suportes de informações: nelas são apresentadas as características, validade e origem do produto (POÇAS; MOREIRA, 2003).

Para os alimentos, a embalagem é de importância imprescindível, tendo como principais funções proteger, informar e armazenar. Embalagem pode ser definida como qualquer recipiente que armazena e agrupa em unidades menores os produtos por um determinado tempo, visando melhor qualidade no transporte, manipulação e no armazenamento do produto, assim diminuindo os prejuízos (BRASIL, 2001).

As embalagens poliméricas são compostas por macromoléculas, formadas por grande número de unidades estruturais idênticas repetidas, unidas entre si por ligações covalentes. Em alguns casos, as ligações conduzem a uma cadeia linear;

em outros, as cadeias ligam-se entre si, constituindo estruturas tridimensionais insolúveis (POUZADA; ANDRADE; CASTRO, 2003).

O consumidor está cada vez mais exigente, buscando qualidade não só na embalagem, mas também no produto embalado. Com essa exigência, o mercado se torna cada vez mais competitivo, as embalagens se tornam destaque nas estratégias de muitas empresas. Não são utilizadas somente para armazenagem e transporte, também são fortes ferramentas de *marketing*, sendo este o canal direto com o consumidor; ganham funções como atrair a atenção do consumidor no ponto de venda, ser um fator decisivo na compra, interagir e criar expectativa sobre o produto, tornar a vida do consumidor mais prática e aumentar a vida útil do produto (YOSHIHARA; CASSIANO, 2010).

A embalagem é de extrema importância principalmente para alimentos – sua função não é só estética, é também significado de segurança, devendo proteger o alimento de contaminação microbiana, evitar desidratação, alterações de cor, alterações físico-químicas, assegurando ao consumidor um alimento de qualidade igual à de produtos frescos ou recentemente preparados. Além disso, elas podem ser melhoradas e transformadas devido ao surgimento de novas matérias-primas e tecnologias, evoluindo com o avanço das tecnologias nos alimentos e da industrialização. A diversificação de embalagens para alimentos é devida ao aumento da demanda por alimentos de preparo rápido, como os congelados, os pré-preparados, que favorecem a distribuição a longas distâncias e para exportação (ANDRADE, 2003).

Entre as características das embalagens, a permeabilidade aos gases é de relevância, pois alguns micro-organismos deteriorantes desenvolvem-se na presença de gases e podem acelerar reações de oxidação, provocando rancidez. A taxa de permeabilidade é medida pela quantidade de fluido que penetra por unidade de tempo e de superfície, podendo ser vapor de água, oxigênio, óleos, gorduras, entre outros fluidos que possam alterar as características dos produtos embalados, sendo esta propriedade de fundamental importância para a vida útil e conservação do produto. Muitas reações podem ser evitadas ou ter a velocidade reduzida com o controle da barreira das embalagens à passagem de gases e vapor de água. A perda de massa do produto está relacionada à permeabilidade ao vapor de água; em alguns casos, é necessário recorrer a embalagens com materiais impermeáveis, ao acondicionamento a vácuo ou à injeção de gás inerte, sendo este o mais utilizado por razões econômicas (POUZADA; ANDRADE; CASTRO, 2003).

A taxa de permeabilidade ao oxigênio das embalagens influi diretamente na vida útil do produto, pois quanto menor a quantidade de oxigênio em contato com o alimento, menor é a atividade metabólica, retardando também o crescimento de bactérias deterioradoras. Boas características de selagem também são fundamentais para garantir a integridade da embalagem e a vida útil do produto.

A presença de grampos, lacres, ossos e outras partes perfurantes exige das embalagens alta resistência mecânica, pois a perfuração do filme provocará falha do sistema de conservação (OLIVEIRA et al., 2006).

Cada embalagem deve ter uma barreira definida, considerando o produto a ser embalado, o processo de distribuição, formulação do produto e também barreira à luz e a aromas. Para estimar a vida útil do produto, os critérios devem ser relacionados com a permeabilidade da embalagem ao oxigênio e com a capacidade dos alimentos de absorver oxigênio, o que altera suas propriedades sensoriais (POUZADA; ANDRADE; CASTRO, 2003).

Os produtos alimentares que são acondicionados em embalagens podem sofrer vários tipos de problemas, sendo eles, infestações por pragas, roedores e/ou insetos, contaminação por poeiras e odores estranhos, desenvolvimento de fungos e bactérias, rancificação, hidrólise da gordura, oxidação de pigmentos, reações de escurecimento, desnaturação, cristalização e modificações coloidais, alteração na atividade enzimática, reação com a embalagem, perda das vitaminas e nutrientes, permeabilidade ao oxigênio e/ou acumulação de anidrido carbônico, retenção de umidade ou perda de água. A embalagem deve apresentar algumas propriedades para controlar todos esses fatores ambientais: o produto e a embalagem devem ser compatíveis para não apresentar reações indesejáveis, assegurando a qualidade do alimento. O oxigênio é de extrema importância para alimentos, pois afeta a vida útil, sendo a oxidação lipídica a reação mais importante nos alimentos – a maioria dos produtos alimentares possui a fração lipídica sensível ao oxigênio – a velocidade de oxidação depende da temperatura e para os alimentos secos depende também da atividade de água. Os produtos com baixo teor de umidade e atividade de água rancificam mais rapidamente e a deterioração oxidativa pode ser controlada diminuindo o oxigênio no interior da embalagem, já que a velocidade de oxidação abaixa com a diminuição da pressão parcial do oxigênio (ANDRADE, 2003).

A qualidade da embalagem pode surgir como obrigação, devido à legislação específica, assim, o fabricante deve cumprir os requisitos impostos. A obtenção/manutenção da qualidade é indispensável para atingir maior competitividade no mercado, refletir nos sistemas de distribuição, resultar em economia e projetar um conceito de marca dos produtos nacionais no mercado exterior (ANTONIETA, 2003).

Cada função da embalagem aborda diferentes aspectos ligados à segurança, conferindo ao produto proteção contra danos físicos que podem ocorrer no transporte e na distribuição. A abertura ou perfuração das embalagens pode significar adulteração ou perda de integridade no produto, tornando-o indesejado pelos consumidores (POÇAS; MOREIRA, 2003).

As propriedades mecânicas de um filme polimérico são determinadas pelas características físicas e químicas que regem e definem as aplicações dos filmes

poliméricos, bem como a qualidade na aplicação para determinados produtos, observando também que existem diversas outras propriedades que definem a adequação de uma embalagem à proteção de determinado produto (INSTRON, 2015).

## 2.1 Embalagens coextrusadas

No processo de extrusão, a resina termoplástica é introduzida em um cilindro aquecido e o material plástico amolecido é forçado por uma rosca sem fim a entrar por meio de uma abertura em uma matriz, para a obtenção de formas contínuas. Depois de sair do molde, o material extrusado deve ser resfriado abaixo de sua temperatura de transição vítrea, de modo a assegurar a estabilidade dimensional requerida. O resfriamento é geralmente realizado com jato de ar ou com água. Filmes soprados são produzidos pela extrusão do polímero fundido, na forma de um tubo, por meio de uma matriz anelar: no centro, o ar é injetado inflando o balão até atingir um diâmetro maior. Um balão então é formado, cujas paredes são estiradas na circunferência pela caneca matriz e na vertical por rolos puxadores ao mesmo tempo em que são resfriadas, conferindo orientação ao filme soprado (CRIPPA, 2006).

A extrusão é o processo mais utilizado para obtenção de produtos de forma contínua e o formato do produto é dado ao passar o material por uma matriz, feira ou cabeça de extrusão com abertura pré-selecionada (ALVES, 2013).

Coextrusão pode ser definida como a combinação de duas ou mais camadas de polímeros fundidos, que após resfriados formam um único filme que atendem às necessidades específicas de desempenho para cada tipo de produto a ser embalado. A coextrusão desenvolveu-se inicialmente em pequenos mercados. Filmes com barreira ao oxigênio utilizam resinas de poliamidas, revestidas com polietileno termoselável. Com apenas um processamento e a custo mais baixo, é possível substituir a laminação de filmes de polietileno (CRIPPA, 2006).

O processamento de polímeros por coextrusão possibilita a combinação de polímeros sem promover a mistura entre estes materiais, combinando suas respectivas propriedades. Este processo permite a obtenção de filmes flexíveis únicos, difíceis de produzir de outra forma. Este tipo de processamento é vantajoso economicamente (ALVES, 2013).

Os materiais utilizados no processo de coextrusão devem ser escolhidos observando inúmeros fatores: número de camadas que compõe o filme, tipo de material utilizado, estrutura química e afinidade molecular, aderência a outras superfícies (no caso da laminação), se o filme vai sofrer estiramento ou não (CRUZ, 2013).

O problema mais observado em processos de coextrusão é a ocorrência de instabilidades de escoamento e baixa afinidade interfacial. A dificuldade no escoamento pode promover rearranjos na forma molecular dos materiais, compromete-

tendo, assim, o desempenho mecânico e ótico dos filmes flexíveis. A instabilidade interfacial comumente é ocasionada em função da falta de afinidade entre os materiais, ocasionando delaminação mesmo em filmes coextrusados (ALVES, 2013).

Fissuras podem ocorrer durante o ciclo de formação de filme multicamadas, geralmente provenientes de irregularidades em uma ou mais camadas específicas. Combinar a viscosidade entre a resina adesiva e as outras resinas que fazem parte do filme multicamada é recomendado, pois é um dos fatores que garante eficácia da força de colagem entre as camadas (CRIPPA, 2006).

Com tantas resinas disponíveis no mercado, é plausível construir estruturas específicas de filmes flexíveis para cada aplicação, visando a barreira exigida pelo produto a ser embalado, o desempenho esperado na máquina e a resistência necessária (CRUZ, 2013).

Com o intuito de minimizar a quantidade de polímeros mais caros, a coextrusão pode ajudar a otimizar o uso destes polímeros e obter propriedades específicas de selagem, aderência, rigidez, resistência ao impacto, rasgo, perfuração, brilho, entre outras. Já no filme monocamada, os componentes estão misturados, necessitando de mais resinas específicas e elevando o custo de produção (CRIPPA, 2006).

## 2.2 Embalagens laminadas e adesivos

Um dos processos muito utilizados para conversão de embalagens plásticas flexíveis é a laminação, que consiste na combinação de diferentes substratos com características diferentes. A união de propriedades de dois ou mais polímeros propicia os requisitos necessários para envase, acondicionamento e proteção, produtividade e as condições de preparo do produto, gerando uma performance mais adequada ao produto a ser embalado. É um recurso utilizado para agregar valor às mesmas, contribuir nas questões estéticas, aumentar as propriedades de barreira, proteger a impressão, facilidade no processo de envase, resistência à delaminação, processo de vedação, forma de apresentação no ponto de venda, requisitos legais e reduzir custos (SILVEIRA, 2015).

A definição do adesivo é qualquer substância capaz de unir duas partes de um mesmo material ou de materiais distintos, sendo estes plásticos, papéis, vidro ou metais. O principal mecanismo utilizado para juntar dois plásticos constitui-se nas forças intermoleculares e interações físicas que também podem significar um fator de adesão. Os adesivos podem ser utilizados para processos de laminação ou de coextrusão (CRIPPA, 2006).

Um requisito importante para todos os adesivos no processo de laminação é que eles sejam líquidos quando na etapa da aplicação e que sejam capazes de molhar a superfície do substrato. Estes adesivos podem ser classificados de várias

formas: método de solidificação, tipo de polímero, tipo de solvente ou categoria de aplicação. O mais utilizado para classificar os adesivos baseia-se no modo como o adesivo líquido é convertido em sólido, sendo estes divididos em: reativo, *hot melt* (fusão a quente), *cold seal* (selagem a frio), base solvente e base água. Outra classificação atende dois grupos natural e sintético, sendo que a maioria dos adesivos naturais é à base de água, enquanto os adesivos sintéticos aparecem em todas as categorias (CRIPPA, 2006).

O processo de conversão por laminação significa unir, colar dois ou mais substratos, utilizando adesivos. A laminação com parafina (*hot melt*) é bastante simples e consiste em aplicar parafina fundida na superfície do substrato 1 e unir esta interface ao substrato 2 e, posteriormente, por contato com cilindro refrigerado, o adesivo se solidifica. Também pode ser utilizado para impermeabilizar a superfície de substratos porosos, como os papéis de sabonetes (JORGE, 2013).

Laminação com adesivo por via úmida consiste na aplicação do adesivo em um dos substratos, na união dele a outro substrato por meio de cilindros e em sua posterior passagem por uma estufa em que o solvente é evaporado. Adesivos de via úmida geralmente são de base de silicatos, dextrina, dentre outros, e utilizam água como solvente. A laminação via úmida é mais empregada na laminação com papel devido à porosidade, e, em virtude de sua afinidade com água, não é muito utilizada em embalagens de alimentos (JORGE, 2013).

A laminação com adesivo via seca é empregada em substratos não porosos, em que não ocorre a vaporização do solvente por meio dos poros dos substratos. Este método consiste em aplicar adesivo na superfície de um dos substratos, passar este substrato por uma estufa para vaporização do solvente e posterior união ao outro substrato por cilindros. Neste processo, o filme flexível exige um determinado tempo pós-processo para que ocorra a cura desse adesivo que usualmente é de base de polímeros dissolvidos em acetatos ou álcoois devido à volatilidade destes solventes (JORGE, 2013).

Um dos parâmetros de controle crítico para o sucesso de uma estrutura laminada no processo é a quantidade de adesivo aplicado, que é comandado por um equipamento denominado dosador. A limpeza, manutenção e tecnologia deste equipamento garantem uma aplicação em proporções corretas. Além dos controles com o equipamento, a limpeza e avaliação das condições do bico misturador garantem melhor propriedade de força de adesão no filme laminado. O controle da gramatura de adesivo é essencial para atingir os resultados esperados. Quando fora dos padrões recomendados, tanto no limite superior quanto no inferior, ele pode acarretar em problemas no laminado. A gramatura do adesivo abaixo do recomendado pode causar alterações, como resistência à delaminação, química e térmica baixas, assim como o espalhamento inadequado. Já aquela acima do limite superior, além de acarretar em alto custo, impacta em tempo de cura, alte-

rações no coeficiente de atrito, na rigidez da embalagem e em defeitos estéticos (SILVEIRA, 2015).

A laminação por extrusão é mais empregada em chapas rígidas, considerando que estas tenham espessura e resistência térmica o suficiente para não se liquefazer em contato com o adesivo fundido. É amplamente utilizada no mercado de termoformados para alimentos. Neste processo, o substrato mais utilizado como adesivo é o PE devido ao seu ponto de fusão, afinidade com outros substratos e facilidade de aditivção. O PE fundido sai de uma extrusora do tipo *cast* como uma cortina de material fundido e, com o auxílio de cilindros, é aplicado entre dois substratos; após o resfriamento, o polietileno atuará como adesivo unindo as interfaces dos substratos (JORGE, 2013).

Na extrusão, os adesivos são constituídos de polímeros com grande compatibilidade em termos de adesão com as camadas que os cercam, sendo que são normalmente desenvolvidos à base de anidrido maleico. A adesão entre as camadas é realizada no próprio processo de coextrusão, sendo impossível de se obter a separação das camadas da estrutura. Filmes multicamadas que são normalmente produzidos por processos de coextrusão, com polímeros quimicamente diferentes, necessitam de uma boa adesão entre as camadas, sendo que a presença de um terceiro componente, um adesivo ou uma camada adesiva, é frequentemente necessária para melhorar a adesão e outras propriedades fundamentais, como propriedades mecânicas, propriedades de barreira (CRIPPA, 2006).

A laminação também pode ser feita ainda na coextrusão, quando dois ou mais termoplásticos são extrusados e unidos ainda fundidos, constituindo características de um filme laminado. Em alguns casos, a coextrusão substitui a laminação por um menor custo (JORGE, 2013).

Para evitar possíveis problemas de incompatibilidade de algumas camadas, um adesivo extrusado, ou uma camada adesiva, deve ser incorporado na estrutura, aprimorando assim sua eficiência. Esta camada adicional de adesivo em filmes coextrusados torna o processo de fabricação mais complexo e mais trabalhoso, sendo que um bloco especial de alimentação se torna necessário, e algumas vezes uma extrusora adicional no sistema de coextrusão (CRIPPA, 2006).

### 2.3 Politereftalato de etileno (PET)

O politereftalato de etileno, também conhecido como poliéster, ou PET, é atualmente uma resina muito popular como material de embalagem, especialmente com embalagens de garrafas, frascos e filmes flexíveis biorientados. Este filme apresenta boas propriedades de barreira ao oxigênio e ao dióxido de carbono, as quais podem ainda ser melhoradas pela orientação biaxial, que proporciona também excelentes propriedades de barreira a aromas (CRIPPA, 2006).



Proveniente da reação do ácido tereftálico com o etileno glicol, o polietileno tereftalato, também conhecido como PET, é o poliéster mais utilizado como material de embalagem flexível. Possui grande resistência à tração e ao impacto, baixa permeabilidade e boas propriedades óticas. Possui alta temperatura de fusão, portanto, é sempre empregado na laminação com polietileno ou polipropileno (JORGE, 2013).

Os filmes de politereftalato de etileno biorientados apresentam também excelente transparência e brilho, boa resistência química e a óleos e a gorduras, boa resistência à tração, rigidez e estabilidade térmica. Sua barreira ao vapor d'água é média, porém pode ser sensivelmente melhorada com a metalização (CRIPPA, 2006).

O PET possui uma ampla faixa de temperatura de trabalho, entre -40 °C e 220 °C, fazendo do PET um material ideal para tratamento térmico de pasteurização, esterilização e até mesmo nas embalagens para congelamentos severos e rápidos (JORGE, 2013).

Na área de embalagem, o PET é aplicado como filmes biorientados para embalagens flexíveis laminadas; garrafas obtidas por injeção/sopro com biorientação para bebidas carbonatadas, água mineral, óleo comestível, sucos e molhos; frascos obtidos por injeção/sopro para produtos farmacêuticos, berços e *blisters* transparentes; e mesmo bandejas com alta estabilidade térmica para uso em fornos convencionais e em fornos de micro-ondas. O PET biorientado pode ainda ser utilizado para embalar carne ou queijo, e como base de laminação com algum outro polímero para embalar *snacks*. Embalagem de PET revestindo um papel-cartão torna-o apropriado como embalagem de produto que pode ser aquecido em forno de micro-ondas, para aplicação como embalagem de comida congelada, sendo que pode também ser utilizado como saco para cozimento de comida congelada (direto do *freezer* ao forno), e para esterilização de medicamentos (CRIPPA, 2006).

As desvantagens do PET é possuir baixa força de adesão, o que torna *grades* normais difíceis ou impossíveis de serem processados por extrusão de balão. *Grades* especiais podem ser produzidos por extrusão de balão via copolimerização, aumentando a força de adesão do PET (CRIPPA, 2006).

## 2.4 Polietileno (PE)

O PE (polietileno) é o polímero que possui a estrutura mais simples. É parcialmente cristalino e flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pelas quantidades relativas das fases amorfa e cristalina. Em condições normais, estes polímeros não são tóxicos, podendo ter contato com produtos consumíveis ou utilizado pelas pessoas. Atualmente, os polietilenos são mais apropriadamente

descritos como polietilenos ramificados e polietilenos lineares (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O parâmetro de controle mais importante dos PEs é a densidade. Os polietilenos são classificados como polietileno de baixa densidade (PEBD), polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), polietileno de média densidade (PEMD) e polietileno de alta densidade (PEAD). A qualidade e o tipo do polietileno para cada aplicação específica dependem do balanço adequado de características obtidas no processo de polimerização. O polietileno é essencialmente um material composto, consistindo da fase cristalina rígida que é responsável pela resistência e da fração amorfa elástica responsável pela elasticidade, maciez e flexibilidade. Portanto, é necessário controlar a estrutura molecular do polietileno, o que passou a ser possível com a evolução dos processos de polimerização (CRIPPA, 2006).

O polietileno contém cadeias ramificadas e a presença dessas ramificações determina o grau de cristalização, as temperaturas de transição afetam os parâmetros cristalográficos, tais como o tamanho dos cristais. A fusão destes polímeros está na faixa de 110 a 115 °C (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O polietileno de baixa densidade (PEBD) é o polímero mais utilizado na fabricação de filmes extrusados, pois possui boas propriedades óticas e boa processabilidade, porém, baixa resistência mecânica. Apresenta propriedades tais como a tenacidade à temperatura ambiente e a baixas temperaturas (com resistência mecânica suficiente para muitas aplicações), a excelente resistência à corrosão, as ótimas propriedades de isolamento, a ausência de cheiro e sabor, e a baixa permeação de vapor de água. É de grande importância do ponto de vista industrial e tecnológico (CRIPPA, 2006).

O PEBDL é mais cristalino quando comparado com os demais PEs, devido a sua linearidade nas ramificações curtas e ausência de ramificações longas. As ramificações de cadeia curta têm influência, tanto no PEBDL como no PEBD, sobre a morfologia e algumas propriedades físicas tais como, rigidez, densidade e resistência à tração. Com cadeias lineares de baixo grau de ramificações curtas, o PEBDL cristaliza em lamelas mais ordenadas e mais espessas do que o PEBD. Consequentemente, o PEBDL apresenta melhores propriedades mecânicas e maior temperatura de fusão. É um termoplástico com elevada capacidade de selagem a quente, sendo muito utilizado em embalagens de gêneros de primeira necessidade, substituindo o PEBD em várias aplicações (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O polietileno de baixa densidade linear possui, como filme, propriedades óticas pobres e difícil processabilidade, porém apresenta boa resistência mecânica, então é comum a utilização de misturas destes polímeros para obter produtos com uma qualidade melhor (CRIPPA, 2006).

O polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) se destaca no setor de embalagens por ser mais viável economicamente e possuir propriedades e desempenho de interesse no mercado alimentício. Observando a compatibilidade dos substratos e para a aplicação a que se destina a embalagem, atualmente está sendo empregado em blendas de resinas e em processo de coextrusão na produção de embalagens com melhorias de produtividade, estabilidade, redução do peso, propriedade de barreira, resistência mecânica e força de soldagem. (CRUZ, 2013).

O polietileno de alta densidade (PEAD) possui alto grau de cristalinidade (maior que 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Sua temperatura de fusão cristalina é de aproximadamente 132 °C. Um aumento no teor de ramificações reduz a cristalinidade e é seguido por uma variação significativa das características mecânicas, causando um aumento no alongamento, na ruptura e uma redução da resistência à tração. Devido à cristalinidade do PEAD, há uma diferença de índice de refração entre as fases amorfa e cristalina; os filmes de PEAD são menos transparentes que os filmes de PEBD, que são menos cristalinos (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O PEAD é mais rígido, possui menor transparência e seu arranjo molecular mais saturado lhe confere maior opacidade, maior resistência química e menor permeabilidade que o de PE de baixa densidade. Ele corresponde apenas a 25% do total dos polietilenos utilizados em embalagens. Geralmente é empregado na confecção de garrafas e recipientes plásticos rígidos, semirrígidos, sacos flexíveis para hortifrúti, adequado para processos de injeção, extrusão por sopro e componente em coextrusados (JORGE, 2013).

O polietileno, independente da densidade, possui muitas aplicações em comum, mas, em geral, o PEAD é mais aplicado em embalagens rígidas, semirrígidas e mais resistentes, e o PEBD é mais utilizado em embalagens flexíveis e transparentes (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

### **3 Procedimentos metodológicos**

Para a avaliação mecânica das diferentes embalagens, foi utilizada pesquisa experimental quantitativa. A pesquisa foi realizada durante os meses de abril de 2014 a maio de 2015, em laboratório.

Os componentes das embalagens foram escolhidos tendo como princípios o material mais utilizado no mercado atualmente e o com boa superfície de impressão, sendo estes, respectivamente, a base de polietileno e a camada impressa de politereftalato de etileno.

As embalagens laminada e coextrusada foram produzidas e fornecidas gratuitamente por uma empresa em Londrina e os testes foram realizados em um laboratório da mesma pelos autores.

Avaliou-se a resistência mecânica das embalagens laminada e coextrusada por métodos destrutivos de tração e alongamento, e por métodos não destrutivos de espessura e gramatura, conforme descritos adiante.

### 3.1 Processo de produção

Para análise do processo de fabricação, foi realizada uma entrevista com engenheiros responsáveis pela produção das embalagens laminada e coextrusada, tendo esta entrevista como base para elaboração dos fluxogramas do processo produtivo, para visualização das particularidades do processo de laminação em relação ao processo de coextrusão.

Segundo o relato do engenheiro de processos que produziu as embalagens laminadas e coextrusadas, que optou por se manter anônimo, considerando uma amostra de 50 kg de filme, na etapa de impressão o tempo necessário para o processo foi de 2 horas; logo após, o filme ficou parado por um tempo mínimo de 24 horas para cura (secagem) do solvente da tinta. No caso do filme laminado, na etapa extra de laminação, o tempo necessário para este processo foi de 2 horas; logo após, o filme ficou parado por 24 horas para cura do solvente do adesivo. Na etapa final, os materiais foram cortados em máquina, sendo enrolado em bobinas; este processo dura aproximadamente 2 horas.

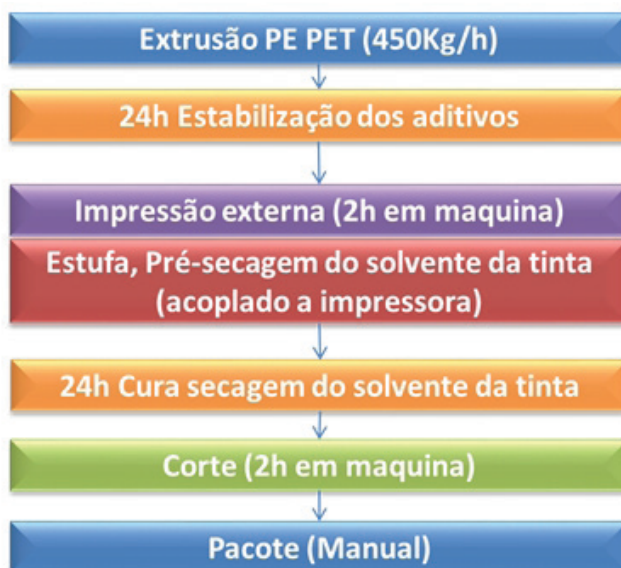
Segundo o engenheiro de coextrusão que formulou as embalagens laminadas e coextrusadas, que também optou por se manter anônimo, as embalagens após extrusão devem aguardar um tempo mínimo de 24 horas antes de seguir para a próxima etapa, para a estabilização dos aditivos de extrusão como deslizantes, plasticizantes, auxiliares de fluxo, entre outros. A extrusão de filmes monocamada (composto apenas de um material) em um processo controlado chega a uma velocidade de 500 quilos por hora; já os filmes multicamadas (compostos por dois ou mais materiais) necessitam de uma menor velocidade, devido à complexidade do controle do processo, extrusando a uma velocidade de 450 quilos por hora.

As embalagens avaliadas foram formuladas e produzidas com base nos processos de fabricação do filme flexível laminado (Figura 1) e coextrusado (Figura 2) apresentados em forma de fluxograma.



**Figura 1** – Fluxograma de fabricação do filme flexível de PET/PE laminado

Fonte: Autoria própria



**Figura 2** – Fluxograma de fabricação do filme flexível de PET/PE coextrusado

Fonte: Autoria própria

### 3.2 Resistência à tração com medição no máximo alongamento

A metodologia de resistência à tração com medição no máximo alongamento foi baseada na norma ASTM D882 (*American Society for Testing & Materials*) – *Standard test method for tensile properties of thin plastics sheeting* (ASTM, 2012). Esta metodologia tem como finalidade determinar a resistência à tração de materiais flexíveis e sua porcentagem de alongamento.

As propriedades de tração expressam a resistência do material à deformação por alongamento quando submetido à tração, característica necessária para máquinas de acondicionamento, processos de conversão (impressão, laminação, etc.) e manuseio de embalagens (ASTM, 2012).

O procedimento consiste em cortar trinta corpos de prova, sendo quinze no sentido de máquina (longitudinal) e quinze no sentido da largura da bobina (transversal). Em seguida, fixar o corpo de prova nas garras das Máquinas Universal de Ensaio Instron. 3365 (Figura 3), mantendo a distância inicial de  $50 \pm 2$  mm entre as garras e proceder iniciando o equipamento, alongando o material até que ocorra ruptura. A velocidade de tracionamento é definida no método ASTM D882 a 300 mm/min; a espessura do corpo de prova é um valor conhecido ou obtido por micrômetro (ASTM, 2012).

As análises mecânicas em filmes foram feitas em máquina universal de ensaio da marca Instron e do modelo 3360 Series Dual Column Tabletop Testing Systems, com computador acoplado; o software utilizado foi o Bluehill® 3, compatível com o aparelho (Figura 3). Este aparelho consiste em tração por duas garras com medição da força (INSTRON, 2015).



**Figura 3** – Máquina universal de ensaios, Modelo Instron 3360

### 3.3 Gramatura

A metodologia para análise de gramatura foi baseada na norma ASTM D646 *Standard Test Method for Grammage of Paper and Paperboard (Weight Per Unit Area)* (ASTM, 2013b).

Com o auxílio de um estilete e do padrão (100 mm por 100 mm), cortou-se a amostra na área em que se desejou analisar. Posicionou-se a amostra sobre o prato de pesagem de uma balança semi-analítica, atentando-se para não deixar pontos fora da área de pesagem. No caso, optamos por dobrar a amostra para evitar tal ocorrência. O resultado foi obtido pela seguinte equação: (Peso da amostra em dimensão 10x10cm) x (100) = (Resultado em g/m<sup>2</sup>) (ASTM, 2013b).

### 3.4 Espessura

A metodologia para análise de espessura foi baseada na norma ASTM D6988 *Standard Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens*. A leitura de espessura foi realizada no relógio Comparador digital modelo ABSOLUTE ID-C, serie 546 da marca Mitutoyo. Foi acondicionada a amostra entre a base e o eixo do relógio para obter o resultado; foram feitas 30 medidas em toda a extensão da amostra e foi calculada a média aritmética entre os valores encontrados. O resultado é expresso em  $\mu\text{m}$  (ASTM, 2013a).

### 3.5 Tratamento dos dados

Os dados obtidos foram transcritos em planilhas e analisados com o auxílio do programa Bioestat. Para comparação entre as medias dos resultados foi realizado o teste “t” de Student para médias de duas amostras, considerando o nível de significância de 5%.

## 4 Resultados e discussão

Como se pode observar nos fluxogramas (Figuras 1 e 2), o filme laminado apresenta um tempo em processo mínimo de aproximadamente 78 horas para sua produção, mais o tempo de extrusão (não especificado) e o tempo de pacote (tempo necessário para empacotar as bobinas de embalagens). Já o filme coextrusado, apresenta um tempo mínimo de aproximadamente 52 horas, mais o tempo de extrusão (não especificado) e o tempo de pacote, demonstrando que um filme coextrusado tem uma produtividade muito mais ágil quando comparado ao filme laminado.

Em toda indústria, o tempo é um recurso valioso. Um processo ágil poupa custos para a operação e oferece benefícios de preços para o consumidor. Mover solicitações e materiais por meio da operação mais rapidamente faz uma operação mais enxuta e mais produtiva. O tempo ganho é um investimento na satisfação do consumidor e na redução dos custos da fábrica (SERDOZ, 2007).

Os benefícios da velocidade podem ser externos e internos em relação à empresa. A rapidez de resposta analisada em relação aos consumidores externos pode ser vista como um item de alta competitividade e o tempo de entrega reduzido pode ser um diferencial ganhador de pedidos; uma operação mais ágil permite melhores previsões, e uma proteção às previsões menos elaboradas, uma vez que a empresa possui habilidade para atender demandas mais rapidamente, diminuindo também a necessidade de altos níveis de estoques e tempo de materiais em processo. A velocidade também reduz as despesas indiretamente, pois quanto mais rápido o ciclo de produção, menos ele requer despesas com iluminação, espaço, controle e monitoração (SERDOZ, 2007).

Os resultados obtidos nos testes comparativos de caracterização mecânica podem ser visualizados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Comparativo dos testes realizados com os filmes de PET/PE laminado e coextrusado (MD para o sentido de máquina e TD para o sentido longitudinal da bobina)

Nº de amostras	PET+PE Laminado	PET+PE Coextrusado
	30	30
Espessura ( $\mu\text{m}$ )	79,9 $\pm$ 1,5 <sup>a</sup>	71,7 $\pm$ 1,4 <sup>b</sup>
Gramatura ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	83,6 $\pm$ 1,1 <sup>a</sup>	78,6 $\pm$ 1,1 <sup>b</sup>
Resistência à tração – MD ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ )	425,2 $\pm$ 23,5 <sup>a</sup>	493,3 $\pm$ 13,4 <sup>b</sup>
Resistência à tração – TD ( $\text{Kgf}/\text{cm}^2$ )	410,2 $\pm$ 11,8 <sup>a</sup>	442,7 $\pm$ 11,6 <sup>b</sup>
Alongamento na ruptura – MD (%)	83,8 $\pm$ 11,5 <sup>a</sup>	497,4 $\pm$ 13,2 <sup>b</sup>
Alongamento na ruptura – TD (%)	87,0 $\pm$ 11,4 <sup>a</sup>	508,8 $\pm$ 12,2 <sup>b</sup>

Letras diferentes na mesma linha diferem entre si com  $\alpha$  de 0,05%.

Fonte: Autoria própria.

A espessura é um parâmetro utilizado como referência na área de embalagens plásticas, sendo este a distância perpendicular entre duas superfícies principais de um material. Conhecendo-se a espessura de um material e sua natureza química, é possível obter informações teóricas sobre suas propriedades mecânicas e de barreira a gases e ao vapor d'água, bem como fazer estimativas sobre a vida



útil de alguns alimentos acondicionados neste material e o desempenho mecânico da embalagem, desde que sejam conhecidos alguns dados, como as dimensões, a capacidade da embalagem e o sistema de distribuição (CRIPPA, 2006).

Por meio da determinação de espessura é possível avaliar a homogeneidade de um filme, variações na espessura de um material implicam problemas em seu desempenho mecânico e perda de barreira, que comprometem o desempenho da embalagem (CRIPPA, 2006).

Dentre as amostras analisadas, o filme flexível laminado apresenta diferença significativa em todos os atributos ao nível de 5% de significância, quando comparado com o filme flexível coextrusado.

As espessuras encontradas nos filmes possuem uma variação na média aritmética de aproximadamente 8,2  $\mu\text{m}$ , devido a uma possível variação no controle do processo. Esta variação poderia comprometer o teste, no entanto, o filme coextrusado apresenta um valor relativo pouco superior ao do filme laminado mesmo que em espessura inferior, excluindo-se os valores de alongamento na ruptura onde o coextrusado apresenta valores significativamente superiores.

Os módulos elásticos são parâmetros fundamentais para a engenharia e aplicação de materiais, uma vez que estão ligados à descrição de várias outras propriedades mecânicas, como a tensão de escoamento, a tensão de ruptura, etc. São propriedades intrínsecas dos materiais que descrevem a relação entre tensão e deformação no regime elástico e que dependem da sua composição química, microestrutura e defeitos (COSSOLINO; PEREIRA, 2010).

O Módulo de Elasticidade é definido como o índice de rigidez dos materiais. Ele pode ser obtido por meio da variação de tensão aplicada, dividido pela deformação elástica longitudinal do corpo de prova. É dado por  $\text{kgf/cm}^2$  ou Pa (COSSOLINO; PEREIRA, 2010).

Já é conhecido que o polietileno possui módulo de elasticidade inferior (Tabela 2), ou seja, alonga mais quando comparado ao politereftalato de etileno. Em contrapartida, o politereftalato de etileno apresenta rigidez superior e, conseqüentemente, uma baixa resistência à propagação do rasgo quando comparado ao polietileno devido a sua orientação estrutural.

**Tabela 2** – Propriedades dos materiais

	<b>Politereftalato de etileno</b>	<b>Polietileno</b>
<b>Resistência à tração</b>	81 Mpa	25 MPa
<b>Módulo de elasticidade</b>	2800 Mpa	100 MPa

Fonte: PLASTMETAL, 2015.

Nos filmes analisados, apesar de mesma composição, ocorre um fenômeno onde o laminado é orientado pelo politereftalato de etileno durante o rompimento, ocasionando um rompimento sem grandes alongamentos (Figura 4). Já no coextrusado, a orientação durante o rompimento é dada pelo polietileno, apresentando um alongamento muito superior, no entanto a camada de politereftalato de etileno delamina ao chegar ao seu máximo alongamento, conferindo um aspecto de escamação (Figura 5).



**Figura 4** – Filme laminado após alongamento

Fonte: Autoria própria



**Figura 5** – Filme coextrusado após alongamento

Fonte: Autoria própria

## 6 Conclusão

Os filmes coextrusado e laminado analisados apresentaram entre si diferenças significativas em todos os parâmetros avaliados. Apesar de o filme coextrusado analisado possuir a espessura inferior, ele apresentou propriedades de resistência à tração e alongamento tão bom quanto os da embalagem laminada, garantindo melhor propriedade de proteção do alimento. Ou seja: o filme coextrusado, quando comparado com o laminado, garante melhores desempenho e propriedades, utilizando menos substratos. Pode ser observado que é viável a substituição da embalagem laminada pela coextrusada, pois essa se torna interessante e atraente para a indústria, podendo ter retornos satisfatórios, considerando que filmes coextrusados apresentam melhor performance, além de ter um retorno produtivo mais ágil devido à quantidade de processos. Assim, a indústria reduz gastos com matéria-prima, diminui o tempo de produção e ainda garante a qualidade de seu produto. Estes aspectos beneficiam a empresa e o consumidor, pois geram redução de gastos, tornando o valor do produto final mais acessível.

## Referências

- ALVES, P. T. F. **Estudo sobre coextrusão de polímeros fundidos**. 2013. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de materiais) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2013.
- ANDRADE, I. N. A embalagem e a sua evolução na indústria alimentar. In: CASTRO, A. G.; POUZADA, A. S. **Embalagens para indústria alimentar**. 1ª ed. Lisboa: Piaget, 2003. p. 17-27.
- ANTONIETA, M. R. Qualidade e embalagem. In: CASTRO, A. G.; POUZADA, A. S. **Embalagens para indústria alimentar**. 1ª ed. Lisboa: Piaget, 2003. p. 389-403.
- ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standart test method for tensile properties of thin plastics sheeting**. Active Standard ASTM D882. New York: ASTM, 2012.
- \_\_\_\_\_. **Standard Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens**. Active Standard ASTM D6988. New York: ASTM, 2013a.
- \_\_\_\_\_. **Standard Test Method for Mass Per Unit Area of Paper and Paperboard of Aramid Papers (Basis Weight)**. Active Standard ASTM D646. New York: ASTM, 2013b.

- BRASIL. Ministério da Saúde. Resolução RDC nº 91, de 11 de Maio de 2001. Regulamento Técnico de Critérios Gerais e Classificação de Materiais para Embalagens e Equipamentos em Contato com Alimentos. **Diário Oficial da União da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 14 maio. 2001.
- COLANERI, D.; GARCIA, C. Desenvolvimento e modelagem de transdutor fotoelétrico destinado a máquinas cortadeiras para embalagens flexíveis. **Sba Controle & Automação**, Natal, vol.18, n. 4, out./dez., 2007.
- COSSOLINO, L. C.; PEREIRA, A. H. A. **Módulos elásticos: visão geral e métodos de caracterização**. 2010. 30 f. Informativo Técnico-Científico – ATCP Engenharia Física, São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.
- COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; SANTA MARIA, L. C. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.
- CRIPPA, Agnaldo. **Estudo do Desempenho de Filmes Multicamadas em Embalagens Termoformadas**. 2006. 151f. Dissertação (pós-graduação em engenharia e ciência dos materiais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- CRUZ, C. V. M. **Estudo das propriedades de barreira em filmes de nanocompósitos obtidos de blendas de PEAD/PEBDL com montmorilonita orgânica**. 2013. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2013.
- INSTRON. **3360 Series Dual Column Tabletop Universal Testing Systems**. 2015. Disponível em: <<http://www.instron.com.br/wa/product/3300-Dual-Column-Testing-Systems.aspx>> Acesso em: 11 mai. 2015.
- JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura acadêmica, 2013.
- OLIVEIRA, L. M.; SARANTOPOULOS, C. I. G. L.; CUNHA, D. G.; LEMOS, A. B. Embalagens termoformadas e termoprocessáveis para produtos cárneos processados. **Polímeros**, São Carlos, vol.16, n. 3, 2006.
- PLASTMETAL. **Polietileno – tabela de propriedades**. Disponível em: <<http://jato-dagua.plastmetal.com.br/tabelas>> Acesso em: 15 mai. 2015.

- POÇAS, M. F. F.; MOREIRA, R. Segurança alimentar e embalagem. In: CASTRO, A. G.; POUZADA, A. S. **Embalagens para indústria alimentar**. 1ª ed. Lisboa: Piaget, 2003. p. 417-438.
- POUZADA, A. S.; ANDRADE, I. N.; CASTRO, G. As embalagens de plástico. In: CASTRO, A. G.; POUZADA, A.S. **Embalagens para indústria alimentar**. 1. ed. Lisboa: Piaget, 2003. p. 237-287.
- SERDOZ, M. L. **Vantagem Competitiva em Manufaturas com a Utilização de Radiofrequência: um estudo de caso em uma manufatura terceirizada**. 2007. 105f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração de Empresas) – Escola de Administração de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2007.
- SILVEIRA, F. AB Flexo – Associação Brasileira de Técnica de Flexografia. **Laminação: agregando valor à embalagem**, 2015. Disponível em: <<http://abflexo.org.br/artigo-tecnico/laminacao-agregando-valor-a-embalagem>> Acesso em: 23 mai. 2015.
- YOSHIHARA, F. G.; CASSIANO, C. M. **A importância da embalagem na comunicação com o consumidor**. In: 33º congresso Brasileiro de ciências da comunicação, Caxias do Sul, 2010. Disponível em: <<http://www.intercom.org.br/sis/2010/resumos/R5-2601-1.pdf>>. Acesso em: 27 nov. 2013.

