

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

GESSICA CRISTINA DE LIMA LINO
THIAGO HENRIQUE DE LIMA LINO

**ESTUDO COMPARATIVO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS
LAMINADAS VERSUS COEXTRUSADAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA
2015

GESSICA CRISTINA DE LIMA LINO
THIAGO HENRIQUE DE LIMA LINO

**ESTUDO COMPARATIVO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS
LAMINADAS VERSUS COEXTRUSADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Alimentos.

Orientadora: Prof.^a Dra. Caroline Maria Calliari

LONDRINA
2015

**GESSICA CRISTINA DE LIMA LINO
THIAGO HENRIQUE DE LIMA LINO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS
LAMINADAS VERSUS COEXTRUSADAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Tecnologia em Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Cláudio Takeo Ueno
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profa. Ms. Margarida Masami Yamaguchi
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Caroline Maria Calliari
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientadora

Londrina, 23 de junho de 2015.

Dedicamos este trabalho à nossa família,
amigos e colegas, pelo incentivo e pelos
apoios constantes.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de deixar o primordial agradecimento aos Eng. Fernanda, Leticia M., Leticia B., João, Ismael, Falzair, Vitor e Thales, pela atenção dedicada e o apoio técnico.

Agradecemos a instituição que nos forneceu o espaço físico e as embalagens para realização deste estudo.

A UTFPR-Londrina pela oportunidade de fazer o curso, pelo ambiente criativo e amigável que nos proporciona, pela infraestrutura e ensino de referência, para nossa vida profissional e pessoal.

À nossa orientadora, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções, incentivos e pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho.

Aos nossos queridos Professores que nos presentearam com suas aulas, conhecimentos e pela paciência, terão os nossos eternos agradecimentos.

Um agradecimento especial à professora mais “patrão” da universidade Dra. Elaine Ferruzzi pelo companheirismo e por todo seu apoio.

Gostaria de deixar registrado também, o nosso reconhecimento à nossa família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Agradecemos a nossa mãe Aguida Piai, nossa heroína que nos deu apoio e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Nossos agradecimentos aos colegas e amigos Jaqueline M., Julio R., Luciane G., Daiane M., Leide, Viviane Oliveira e Luciana Shiga, companheiros e irmãos que fizeram parte da nossa formação e que vão continuar presentes em nossa vida com certeza.

Enfim, a todos que não tiveram seus nomes mencionados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a nossa formação, o nosso muito obrigado.

“O único lugar onde o sucesso vem antes
do trabalho é no dicionário.”
(Albert Einstein)

“O medo corta mais fundo que as
espadas”
(Arya Stark – Game of Thrones)

RESUMO

LINO, Gessica C. L.; LINO, Thiago H. L. **Estudo comparativo de embalagens flexíveis laminadas versus coextrusadas**. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

As embalagens se tornam destaque nas estratégias de muitas empresas, ressaltando a necessidade de investimento em tecnologias como a coextrusão, sendo esta definida como a combinação de duas ou mais camadas de polímeros fundidos, que formam um único filme e atendem às necessidades específicas de desempenho para uma determinada aplicação. A coextrusão permite otimizar as características dos polímeros de custo mais elevado, minimizando a quantidade necessária para cumprir finalidades específicas de selagem, aderência, brilho, rigidez, resistência ao impacto, rasgamento, perfuração, entre outras. Com o objetivo de diferenciar as embalagens flexíveis laminadas das coextrusadas verificando qual possui melhor desempenho para o mercado, as embalagens foram submetidas a testes de resistência à tração, alongamento, gramatura e espessura. Constatou-se que o filme coextrusado difere significativamente comparado ao laminado: apesar de a amostra coextrusada em questão possuir espessura inferior, apresenta resistência a tração e alongamento elevado em relação a embalagem laminada. Sua substituição no mercado pode ocorrer de maneira satisfatória considerando que os filmes coextrusados possuem uma escala produtiva mais ágil se comparada aos filmes laminados, devido à quantidade de etapas do processo.

Palavras-chave: Filme multicamadas. Monocamada. Caracterização mecânica. Qualidade. Filmes plásticos.

ABSTRACT

LINO, Gessica C. L.; LINO, Thiago H. L. **Comparative study of laminated flexible packaging versus coextruded**. 2015. 37p. term paper (Food Technology) - Federal Technology University - Parana. Londrina, 2015.

Packaging become prominent in the strategies of many companies, emphasizing the need for investment in technologies such as coextrusion, which is defined as the combination of two or more layers of molten polymers that form a single film and meet specific performance requirements for a given application. The coextrusion allows to optimize the characteristics of the polymers of higher cost, minimizing the amount required to meet specific purposes of sealing, adhesion, gloss, rigidity, impact resistance, tearing, perforation, among others. With the objective to differentiate the flexible packaging laminate of coextruded, checking which has better performance to the market, the packages were submitted to teste of tensile strength, stretching, weight and thickness. It was found that the coextruded film differs significantly compared to the laminate: although the coextruded sample in question to have lower thickness, has tensile strength and high elongation compared to laminated packaging. His substitution in the market may occur in a satisfactory manner considering the coextruded films have a more agile production scale compared to laminated films, due to the amount of process steps.

Keywords: Multilayer film. Monolayer. Mechanical characterization. Quality. Plastic films.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma de fabricação do filme flexível laminado.....	25
Figura 2 – Fluxograma de fabricação do filme flexível coextrusado.....	25
Figura 3 – Máquina universal de ensaios, Modelo Instron 336.....	27
Figura 4 – Relógio Comparador digital modelo ABSOLUTE ID-C, serie 546 da marca Mitutoyo.....	28
Figura 5 – Filme Laminado após alongamento.....	33
Figura 6 – Filme coextrusado após alongamento.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo dos testes realizados com os filmes laminado e coextrusado.....	31
Tabela 2 – Propriedades dos materiais.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 EMBALAGEM	13
3.1. EMBALAGENS COEXTRUSADAS	16
3.2 EMBALAGENS LAMINADAS	17
3.3 ADESIVO	18
3.4 POLITEREFTALATO DE ETILENO (PET)	19
3.5 POLIETILENO (PE).....	20
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
4.1. MATERIAIS EM ESTUDO.....	23
4.2 MÉTODOS	23
4.2.1 Processo de produção.....	24
4.2.2 Resistência a tração com medição no máximo alongamento.....	26
4.2.2.1 Máquina universal de ensaios	26
4.2.3 Gramatura	27
4.2.4 Espessura	28
4.3 TRATAMENTO DOS DADOS	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6 CONCLUSÃO	34
REFERÊNCIAS	35

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.

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, cosméticos, fertilizantes entre muitas outras (COLANERI; GARCIA, 2007).

O estudo das propriedades mecânicas das embalagens nos possibilita criar uma alternativa no processo de extensão de vida útil do produto, uma vez que um determinado produto a ser envasado, se deteriora mais facilmente que outro, sob as mesmas condições de armazenamento. 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.

A degradação de lipídios pode ser ocasionada por oxidação e é a mais frequente causa de deterioração de produtos biológicos muito importantes 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, 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 podendo prejudicar a imagem da empresa.

As propriedades mecânicas do filme como, por exemplo, 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 às propriedades mecânicas do filme, mais resistente será a embalagem.

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).

2 OBJETIVOS

Estudar e diferenciar as embalagens flexíveis de PET/PE obtidas por laminação e coextrusão.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar e descrever a produção e a composição da embalagem PET/PE laminada da coextrusada;
- Estudar os diferentes tipos de fatores que influenciam neste produto diferenciando seu processo;
- Verificar a resistência mecânica para estas embalagens;
- Diferenciar as embalagens através de testes de tração, alongamento, espessura, gramatura e análise da produção.

3 EMBALAGEM

As embalagens possuem algumas funções em todo o ciclo de vida do produto, cada função aborda diferentes aspectos ligados à segurança. Pode ser definida como “a preparação de bens para o transporte, distribuição, armazenamento, venda e consumo final” (POÇAS; MOREIRA, 2003).

Para prolongar a vida útil dos produtos mantendo todas as características, as embalagens devem conter funções de acordo com o produto a ser embalado, deve conter barreira de gases, ao vapor, água e a luz, as embalagens devem apresentar resistência mecânica e térmica e outras características específicas quando necessárias, as embalagens são suportes de informações, nelas são apresentadas as características do produto, validade, a procedência e origem do produto (POÇAS; MOREIRA, 2003).

Para os alimentos, a embalagem é de importância imprescindível, tem como principal função 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.

As embalagens poliméricas são compostas por macromoléculas, formadas por grande número de unidades estruturais idênticas repetitivas, 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, 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 uma 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, também é significado de segurança, ela deve proteger o alimento de contaminação microbiana, evita desidratação, alterações de cor, mudanças físico-químicas assegurando ao consumidor alimento de qualidade igual à de produtos frescos ou recentemente preparados, além disso elas podem ser melhoradas e transformadas devido ao aparecimento de novas matérias-primas e tecnologias, evoluindo com o avanço das tecnologias nos alimentos e da industrialização. (ANDRADE, 2003).

A diversificação de embalagens para alimentos é devido ao crescimento de alimentos de rápido preparo como comidas congeladas, alimentos em geral que são pré-preparados, que favorecem a distribuição à longas distâncias e para exportação (ANDRADE, 2003).

Entre as características das embalagens, a permeabilidade aos gases é de relevância, pois, os micro-organismos crescem na presença dos gases liberados pelos alimentos e podem acelerar reações de oxidação, provocando rancidez (POUZADA; ANDRADE, 2003).

“A permeabilidade aos gases é medida pela quantidade de gás que penetra por unidade de tempo e de superfície”, sendo de fundamental importância para o tempo de vida e conservação do produto. Muitas reações podem ser evitadas ou diminuídas com o controle da parede das embalagens como passagem de gases e vapor de água. A perda de massa do produto está relacionada com a permeabilidade ao vapor de água. Em alguns casos é necessário recorrer a embalagens com materiais impermeáveis, o acondicionamento a vácuo ou até mesmo injeção de gás inerte sendo este o mais utilizado por razões econômicas (POUZADA; ANDRADE, 2003).

Cada embalagem deve ter uma barreira definida considerando o produto a ser embalado, o processo de distribuição, formulação do produto e também barreira de luz e ao aroma. Para estimar a vida útil do produto os critérios devem se relacionar com a permeabilidade da embalagem ao oxigênio e com o oxigênio que pode ser absorvido pelos alimentos, o que altera suas propriedades sensoriais (POUZADA; ANDRADE, 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 escurecimentos; 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 (ANDRADE, 2003).

A embalagem deve apresentar algumas propriedades para poder controlar todos esses fatores ambientais: o produto e a embalagem devem ser compatíveis para não apresentar reações indesejáveis, assegurando a característica e a qualidade do alimento; o oxigênio é de extrema importância para alimentos, pois afeta a vida útil do alimento; a reação mais importante nos alimentos é a oxidação lipídica, pois 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 em umidade e atividade de água rancificam mais rapidamente; a deterioração oxidativa pode ser controlada diminuindo o oxigênio no interior da embalagem; e a velocidade de oxidação abaixa com a diminuição da pressão parcial do oxigênio (ANDRADE, 2003).

A qualidade da embalagem pode surgir como obrigação, devido a uma legislação específica, sendo assim o fabricante deve cumprir os requisitos impostos. A qualidade é um processo indispensável para atingir maior competitividade no mercado, refletir sob os sistemas de distribuição, elevar a grandes economias, 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 intrusão das embalagens pode significar adulteração ou perda de integridade no produto, tornando um produto indesejado pelos consumidores (POÇAS; MOREIRA, 2003).

As propriedades mecânicas de um filme polimérico são determinadas pelas características físicas e químicas delimitando assim as potencialidades de sua aplicação tecnológica, estas propriedades regem e definem as aplicações dos filmes poliméricos, bem como a qualidade na aplicação para determinados produtos, observando também que estas propriedades representam apenas uma das propriedades que definem o produto a ser aplicado (INSTRON, 2015).

3.1. EMBALAGENS COEXTRUSADAS

Coextrusão pode ser definido 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 (CRIPPA, 2006).

A coextrusão desenvolveu-se inicialmente em pequenos mercados. Filmes com barreira ao oxigênio, utilizam resinas de poliamidas, revestidas com polietileno com características de termo selagem, com apenas um processamento e a um custo mais baixo, era possível substituir a laminação de filmes de polietileno (CRIPPA, 2006).

Fissuras podem ocorrer durante o ciclo de formação de filme multicamadas, geralmente são 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 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 elevando o custo de produção (CRIPPA, 2006).

No processo de coextrusão, a resina termoplástica é introduzida em um cilindro aquecido e o material plástico amolecido é forçado, por uma rosca sem fim, a entrar através 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 (CRIPPA, 2006).

Filmes soprados são produzidos pela extrusão do polímero fundido, na forma de um tubo, através de uma matriz anelar, no centro ar é injetado, inflando o balão até atingir um diâmetro maior. Uma “bolha” então é formada, cujas paredes são estiradas na circunferência pela caneca matriz e na vertical, por rolos puxadores ao

mesmo tempo em que são resfriadas, conferindo então ao filme soprado uma orientação (CRIPPA, 2006).

3.2 EMBALAGENS LAMINADAS

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, irão propiciar os requisitos necessários para o envase, o acondicionamento e proteção, a produtividade e até mesmo as condições do 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).

Um dos parâmetros de controle crítico para o sucesso de uma estrutura laminada no processo é a quantidade de adesivo aplicado, é comandado por um equipamento denominado dosador, a limpeza, manutenção e tecnologia do mesmo 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, alterações no coeficiente de atrito, na rigidez da embalagem e em defeitos estéticos (SILVEIRA, 2015).

3.3 ADESIVO

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).

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 (CRIPPA, 2006).

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).

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).

Um requisito importante para todos os adesivos no processo de laminação é que eles sejam líquidos quando da 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).

3.4 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).

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).

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).

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 (CRIPPA, 2006).

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).

3.5 POLIETILENO (PE)

O PE (polietileno) como é conhecido, 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) (CRIPPA, 2006).

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 de baixa densidade é o polímero mais utilizado na fabricação de filmes extrusados, pois possui boas propriedades óticas e boa processabilidade, porém, baixa resistência mecânica (CRIPPA, 2006).

O polietileno de baixa densidade linear, o qual, como filme possui propriedades óticas pobres, 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 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) 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 d'água, de grande importância do ponto de vista industrial e tecnológico (CRIPPA, 2006).

O polietileno de baixa densidade linear (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. Conseqüentemente, o PEBDL apresenta melhores propriedades mecânicas e maior temperatura de fusão (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

O PEBDL 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 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 (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

Devido à cristalinidade do PEAD há uma diferença de índice de refração entre as fases amorfa e cristalina, os filmes de PEAD são translúcidos e menos transparentes que os filmes de PEBD, que são menos cristalinos (COUTINHO; MELLO; SANTA MARIA, 2003).

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).

4 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.

4.1. MATERIAIS EM ESTUDO

Os componentes das embalagens foram escolhidos tendo como princípio o material mais utilizado no mercado atualmente e uma boa superfície de impressão, sendo estes respectivamente 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 a qual optou por se manter anônima, os testes foram realizados em um laboratório desta empresa pelos autores, este laboratório dispõe de todos os equipamentos necessários para os testes.

4.2 MÉTODOS

Foi avaliada a resistência mecânica das embalagens laminada e coextrusada por métodos destrutivos de tração e alongamento, e por métodos não destrutivos de espessura e gramatura.

4.2.1 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 a etapa extra de laminação, 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 (composto 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.

Com base nos relatos dos engenheiros responsáveis por formular e produzir as amostras elaborou-se os fluxogramas dos processos de fabricação do filme flexível laminado e coextrusão analisados (figura 1 e 2):

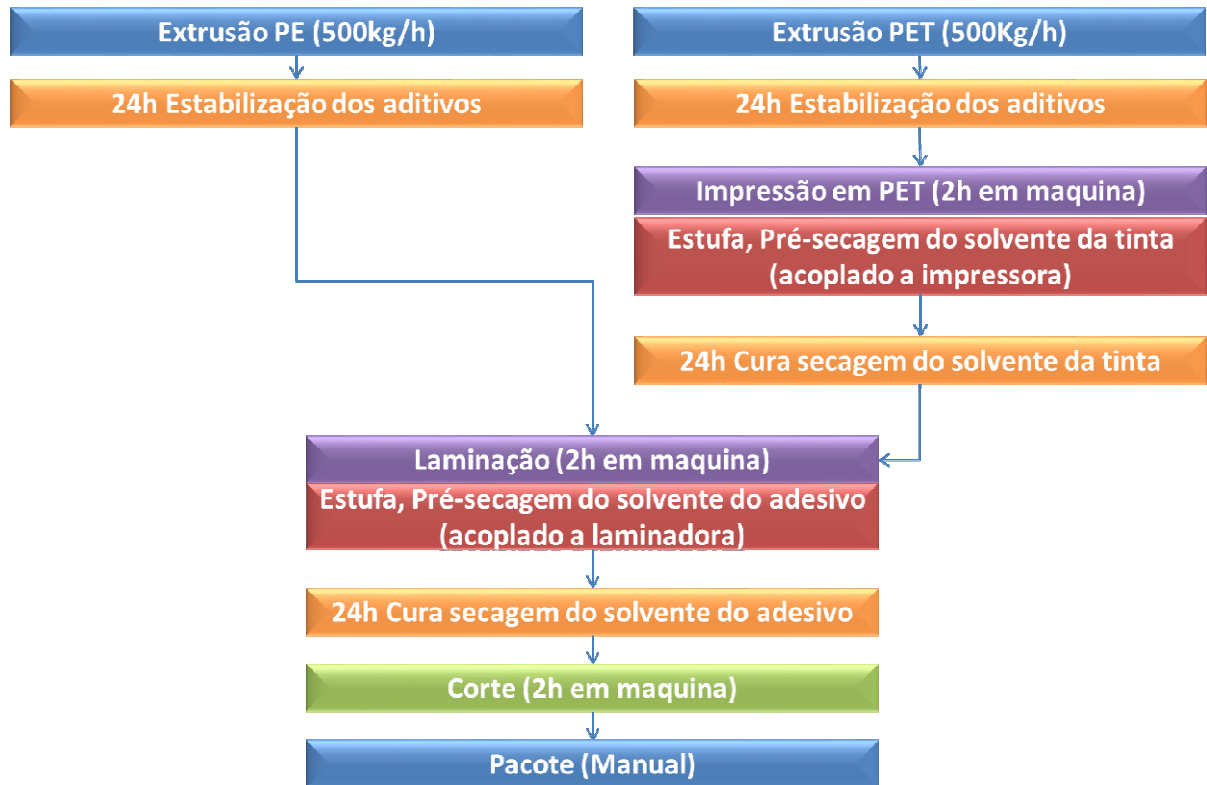


Figura 1. Fluxograma de fabricação do filme flexível laminado.

Fonte: Autoria própria

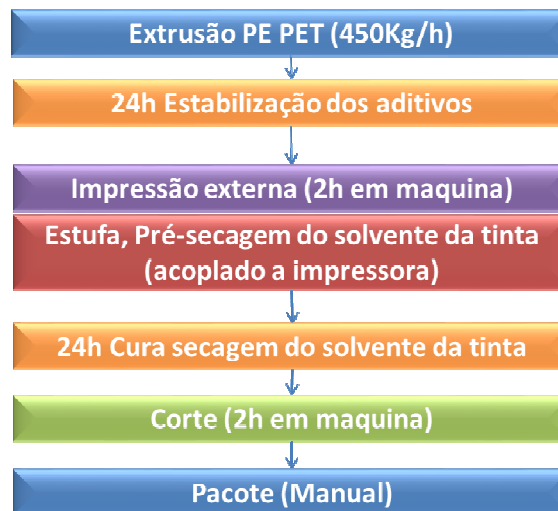


Figura 2. Fluxograma de fabricação do filme flexível coextrusado.

Fonte: Autoria própria

4.2.2 Resistência a tração com medição no máximo alongamento

Metodologia de resistência a tração com medição no máximo alongamento é baseada na norma ASTM D882 *Standard test method for tensile properties of thin plastics sheeting* de 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, características necessárias 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 ± 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).

4.2.2.1 Máquina universal de ensaios

As análises mecânicas em filmes foram feitas em máquina universal de ensaios, Modelo Instron 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.

Fonte: INSTRON, 2015.

4.2.3 Gramatura

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

Com o auxílio de um estilete e do padrão (100 mm x 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/m²) (ASTM, 2013b).

4.2.4 Espessura

A metodologia para análise de espessura é baseada na norma ASTM D6988 *Standard Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens* de 2013. A leitura de espessura foi realizada no relógio Comparador digital modelo ABSOLUTE ID-C, serie 546 da marca Mitutoyo (figura 4). 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 μm (ASTM, 2013a).



Figura 4: Relógio Comparador digital modelo ABSOLUTE ID-C, serie 546 da marca Mitutoyo

Fonte: Autoria própria

4.3 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%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como se pode observar nos fluxogramas (figura 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, 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 uma 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 através 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, 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, quanto mais rápidas o ciclo de produção, menos ele requer de despesas com iluminação, espaço, controle e monitoração (SERDOZ, 2007).

Os resultados obtidos dos testes comparativos de caracterização mecânica podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1: Comparativo dos testes realizados com os filmes laminado e coextrusado (MD para o sentido de máquina e TD para o sentido longitudinal da bobina).

	PET+PE Laminado	PET+PE Coextrusado
Nº de amostras	30	30
Espessura (μm)	79,9 ^a \pm 1,46	71,7 ^b \pm 1,39
Gramatura (g/m^2)	83,6 ^a \pm 1,10	78,6 ^b \pm 1,13
Resistencia a tração – MD (Kgf/cm^2)	425,2 ^a \pm 23,52	493,3 ^b \pm 13,38
Resistencia a tração – TD (Kgf/cm^2)	410,2 ^a \pm 11,79	442,7 ^b \pm 11,61
Alongamento na ruptura – MD (%)	83,8 ^a \pm 11,52	497,4 ^b \pm 13,20
Alongamento na ruptura – TD (%)	87,0 ^a \pm 11,42	508,8 ^b \pm 12,23

^{ab} Letras iguais nas Linhas não diferem entre si com α 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 μm , 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 por exemplo, 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 através da variação de tensão aplicada, dividido pela deformação elástica longitudinal do corpo de prova. É dado por (kgf / cm²) ou (Pa) (COSSOLINO; PEREIRA, 2010).

Já é conhecido que o polietileno possui modulo de elasticidade inferior (Tabela 2), ou seja, ele 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.

	Politereftalato de etileno	Polietileno
Resistencia a tração	81 Mpa	25 MPa
Modulo de elasticidade	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 5). 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 6).



Figura 5. Filme Laminado após alongamento.

Fonte: Autoria própria

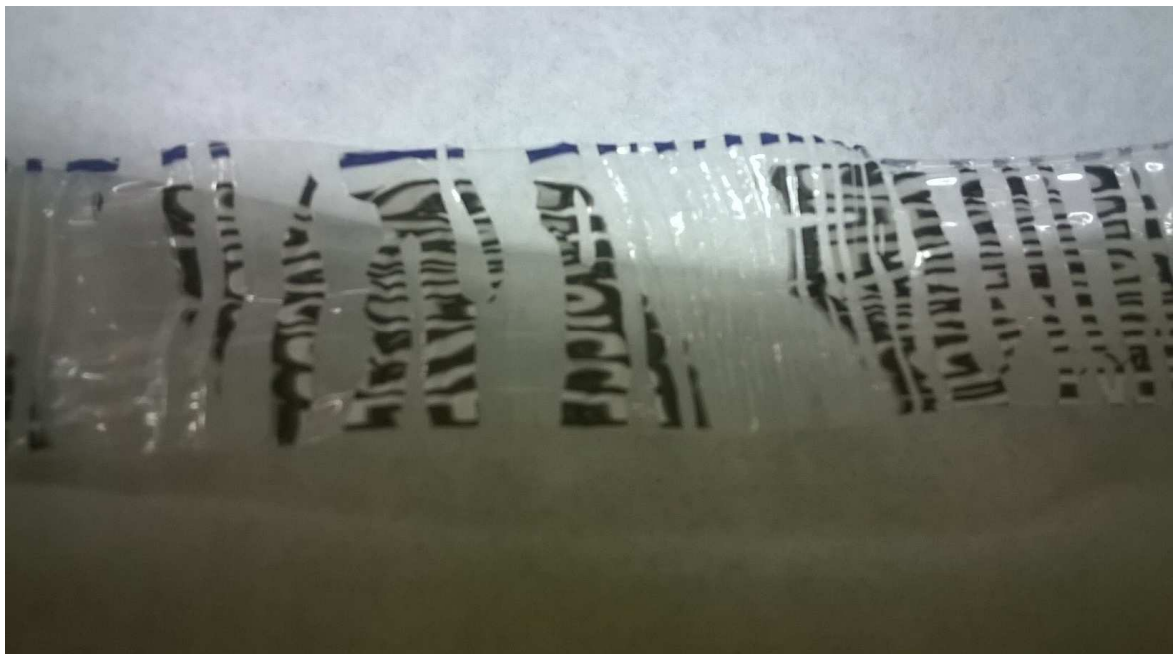


Figura 6. Filme coextrusado após alongamento.

Fonte: Autoria própria

6 CONCLUSÃO

O filme coextrusado analisado apresentou diferenças significativas em todos os parâmetros avaliados, quando comparado com o filme laminado.

Apesar de o filme coextrusado analisado possuir a espessura inferior, apresenta propriedades de resistência à tração e alongamento tão bom quanto à embalagem laminada, garantido uma melhor propriedade de proteção do alimento, ou seja, o filme coextrusado quando comparado com o laminado, garante melhor desempenho e propriedades, utilizando menos material.

A substituição da Embalagem laminada pela coextrusada no mercado pode ter retornos satisfatórios considerando que filmes coextrusados apresentam melhor performance, além de ter um retorno produtivo mais ágil e devido à quantidade de processos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **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.

_____. **Standart test method for tensile properties of thin plastics sheeting**. Active Standard ASTM D882. New York: ASTM, 2012.

ANDRADE, Isilda 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, Maria R. Qualidade e embalagem. In: CASTRO, A. G.; POUZADA, A.S. **Embalagens para indústria alimentar**. 1ª ed. Lisboa: Piaget, 2003. p. 389-403.

COLANERI, Décio; GARCIA, Claudio. 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, Leiliane C.; PEREIRA, Antônio 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, Fernanda. M. B.; MELLO, Ivana. L.; SANTA MARIA, Luiz. C. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 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.

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.

OLIVEIRA, Léa M.; SARANTOPOULOS, Claire I. G. L.; CUNHA, Débora G.; LEMOS, Aline 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://jatodagua.plastmetal.com.br/tabelas>> Acesso em: 15 mai. 2015.

POÇAS, Maria F. F.; MOREIRA, Raquel. 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, Isilda N.; CASTRO, Gomes. As embalagens de plástico. In: CASTRO, A. G.; POUZADA, A.S. **Embalagens para indústria alimentar**. 1ª ed. Lisboa: Piaget, 2003. p. 237-287.

SERDOZ, Marcio Luis. **Vantagem Competitiva em Manufaturas com a Utilização de Radiofrequência**. 2007. 105f. Proposta de Dissertação (Mestrado Profissional em Administração de Empresas) - Escola de Administração de Empresas, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2007.

SILVEIRA, Fabiana. 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, Filipe G.; CASSIANO, Célia 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.