

ANÁLISE COMPARATIVA DO CONSUMO DE PIGMENTO BRANCO COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE DIÓXIDO DE TITÂNIO, NO PROCESSO DE EXTRUSÃO DE FILMES FLEXÍVEIS

Luiz Bonifácio Colombo¹

Josiane da Rocha Silvano das Neves²

Resumo: As matérias-primas utilizadas no processo de produção de filmes flexíveis pigmentados representam a maior parte do custo do produto final. Os *masterbatches* utilizados para conferir cor ao filme possuem alto valor agregado. Visando uma redução de custo gerado por esta matéria-prima foi feito um levantamento dos *masterbatches* homologados pela Empresa Canguru Plásticos e o custo de cada um. Foram analisados 7 *masterbatches* de 3 fornecedores diferentes identificados de A a G, com concentração de dióxido de titânio (TiO_2) de 75% e 70%, onde foram produzidos filmes usando cada *masterbatch* em uma coextrusora tipo balão de 3 camadas modelo Carnevalli 2001. Foi realizado a dosagem de cada *masterbatch* necessária para que se atingisse o valor de opacidade padrão do filme, que foi medida em espectrofotômetro *x-rite exact advanced*. Constatou-se que os *masterbatches* com 75% de TiO_2 apresentaram menor consumo em relação aos de 70%. Os filmes produzidos passaram por análises laboratoriais de coeficiente de fricção (COF), resistência ao impacto, resistência a tração e alongamento, a fim de atestar se as suas características físicas e mecânicas foram mantidas. Todos os filmes analisados apresentaram bons resultados de qualidade, ficando dentro dos padrões exigidos. Foi realizado uma avaliação de rentabilidade de cada *masterbatch* levando em consideração a dosagem usada em máquina, o custo, e o volume de produção do lote produzido, bem como o volume de produção de filmes pigmentados do ano de 2019. Os *masterbatches* C e G apresentaram bons resultados, sendo que o *masterbatch* C apresentou uma economia de processo de 5,5%, que corresponde a R\$ 94.163,19 em 2019 e o *masterbatch* G uma redução de 6,5%, que corresponde R\$ 112.126,62 de economia quando comparados ao *masterbatch* A, atualmente utilizado na Empresa. Considerando o volume produzido até o mês de setembro de 2019.

Palavras-chave: *Masterbatch*. Filmes flexíveis. Opacidade.

1 INTRODUÇÃO

As matérias-primas utilizadas na produção de filmes flexíveis são compostas por resinas, aditivos e pigmentos, estes, divididos entre nacionais e importados. As matérias-primas representam um alto impacto no custo, pois pode chegar a constituir 70% do valor total do produto acabado. Os pigmentos têm um

¹ Graduando em Eng. Química. E-mail: luizcolombo111@hotmail.com

² Profa. Dra em Engenharia Química. E-mail: josiane.neves@satc.edu.br

percentual significativo no custo por se tratar de uma matéria-prima de alto valor agregado em relação ao restante dos componentes.

O consumo de pigmento se justifica pela exigência de mercado por filmes com alta opacidade, a fim de se obter proteção do produto embalado e estética da embalagem que destacará melhor as impressões a serem aplicadas. Com a alta demanda de mercado gerada pelas características citadas, faz-se necessário um consumo significativo destes pigmentos, principalmente do dióxido de titânio (TiO_2).

A utilização do dióxido de titânio na indústria de embalagens flexíveis é determinada pelas seguintes características: excelente opacidade, alto rendimento, elevada brancura, estabilidade química e térmica e excelente solidez a luz.

Por estratégias comerciais entre comprador e fornecedor são utilizados pigmentos com diferentes concentrações de TiO_2 no *masterbatch*, sendo necessário estudos que avaliem a rentabilidade, custo e consumo em máquina destes diferentes pigmentos.

Visto que o Brasil passa por períodos de instabilidade econômica, as empresas precisam de estratégias e ideias inovadoras para se manter competitivas no mercado. Uma alternativa é avaliar todas as etapas dos processos produtivos a fim de eliminar/reduzir custos, oferecendo o melhor produto com o preço mais acessível possível.

Como forma de contribuir com um estudo que possibilite uma redução de custo desta matéria-prima, este trabalho analisará o consumo em diferentes pigmentos utilizados em forma de *masterbatch* no processo de extrusão de filmes.

Afim de padronizar o percentual de consumo em máquina de cada *masterbatch* por fornecedor e concentração de TiO_2 durante a extrusão de filmes pigmentados branco, avaliando e comparando o desempenho e rendimento através dos valores de opacidade, consumo e custo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, apresenta-se a fundamentação teórica que sustenta o projeto.

2.1 HISTÓRIA DA EMBALAGEM NO BRASIL

A importância da embalagem atravessa séculos desafiando novas formas de acondicionar, transportar e, mais atualmente, vender e competir. A sua criação deu-se graças a necessidade de conter e transportar alimentos e água, passando, também, a armazená-los (FERRADOR, 2011).

As matérias-primas das primeiras embalagens da humanidade eram chifres ocos, bexigas de animais, folhas de árvores, pedaços de bambus e partes ocas de árvores, usados em seu estado natural sem qualquer tipo de beneficiamento. Mais tarde o homem começou a dominar algumas técnicas e melhorar suas habilidades manuais, sendo possível a fabricação de embalagens feitas a partir do vidro, tecidos e madeira, papel, papelão, folha-de-flandres, até atingir a atualidade com o uso do alumínio e do plástico em suas várias apresentações (LIMA, 2015).

Com o passar do tempo, a embalagem sofreu grandes mudanças, tanto de personalidade, como de serventia. Diversos marcos históricos foram decisivos para o progresso da embalagem, no Brasil o pontapé inicial se deu em 1808, com a chegada de João VI, que permitiu o funcionamento de manufaturas e fábricas, isto, aliado ao descobrimento de novas rotas marítimas, impulsionaram o desenvolvimento de embalagens mais resistentes e maior capacidade de conservação dos alimentos (FERRADOR, 2011).

Com o surgimento dos supermercados no Brasil, na década de 1940, houveram muitas inovações na produção de embalagens, pois estas deveriam garantir que os produtos fossem transportados com segurança até os grandes centros consumidores, mantendo-se estáveis por longos períodos de estocagem. Além do desafio logístico, buscou-se soluções que estendessem a durabilidade e características dos produtos (LIMA, 2015).

Com o desenvolvimento dos meios de comunicação e publicidade, a embalagem passou a atuar como agente de vendas, sendo considerada tão importante quanto os produtos embalados. Começou a ser usada como ferramenta de marketing e canal de comunicação com o consumidor, usada para promover e diferenciar o produto de cada fabricante, além de trazer informações importantes sobre os produtos, como os ingredientes, validade, etc. A embalagem deixa de ser parte para se tornar o produto, uma embalagem inovadora agrega valor ao produto e ajuda a conquistar espaço nos postos de vendas (FERIAN; CURSINO; MAZZEO,

2004).

O surgimento do plástico, com a fabricação de resinas plásticas como polietileno, polipropileno e poliéster, permitiu uma maior oferta de embalagens em variados formatos, espessuras e tamanhos, como por exemplos as embalagens plásticas flexíveis (FERRADOR, 2011).

2.2 EMBALAGENS FLEXÍVEIS

O termo embalagens plásticas flexíveis é usado para definir as embalagens que são compostas de materiais flexíveis e conformáveis, cuja espessura é inferior a 250µm. Se enquadram nessa classificação sacos e sacarias com duas ou três soldas, *pouches* de quatro soldas, envoltórios fechados por torção e/ou grampos, tripas, *pouches* autossustentáveis (*stand up pouches*), fundos termoformáveis flexíveis que se conformam ao produto, filmes encolhíveis (*shrink*) para lacres, rótulos, envoltório ou unitização, filmes esticáveis (*stretch*) para envoltórios de bandejas ou para amarração de carga na paletização, sacos de rafia etc. Os materiais flexíveis incluem ainda selos termosseláveis, rótulos e etiquetas plásticas (TEIXEIRA; ITO, 2017).

Segundo Garcia, Sarantopoulos e Coltro (2017), os materiais flexíveis destacam-se pela relação otimizada entre a massa de embalagem e a quantidade de produto acondicionado e pela flexibilidade que oferecem ao dimensionamento de suas propriedades, as quais podem variar devido a inúmeros fatores, como:

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

Uma das principais vantagens das embalagens plásticas flexíveis é a possibilidade de combinação de materiais diversos em múltiplas camadas, a fim de

obter propriedades balanceadas, que atendem a requisitos econômicos, ambientais e de conservação e comercialização de produtos (MIRANDA, 2011).

No processo de fabricação de uma embalagem plástica, a escolha dos materiais leva em conta requisitos como a permeabilidade a gases, aromas e vapor d'água, temperatura de processamento e acondicionamento do produto, temperatura de estocagem, custo das matérias-primas, custo de processamento, restrições de processamento dos materiais, propriedades mecânicas, características de termosselagem, resistência química, estabilidade dimensional, propriedades ópticas, segurança para o contato com alimentos, etc (GARCIA; SARANTOPOULOS; COLTRO, 2017).

Os filmes monocamadas são aqueles fabricados a partir do processo de extrusão de um único material plástico ou ainda uma mistura de dois materiais diferentes, porém compatíveis, sendo que as características destes filmes, dependem, além das propriedades dos materiais, do processo de fabricação. Em contrapartida os filmes flexíveis multicamadas, são estruturados pela combinação de diferentes materiais (substratos), obtidos por processos básicos, como revestimento, laminação ou coextrusão (GARCIA; SARANTOPOULOS; COLTRO, 2017).

Os filmes plásticos flexíveis, sobretudo nos processos de extrusão e coextrusão, são formados por meio da fusão entre resinas, aditivos, pigmentos e algumas vezes cargas (MUSSAK, 2016).

2.3 RESINAS TERMOPLÁSTICAS

As resinas termoplásticas são polímeros que podem ser fundidos e solidificados com o aumento de temperatura e pressão, formando produtos com formas definidas, este processo pode ser realizado repetidas vezes, com pouca ou nenhuma variação das propriedades básicas das resinas, ou seja, é um processo físico e reversível (CANEVAROLO, 2013).

Polímero é qualquer material com elevado peso molecular, composto de uma variedade de unidades estruturais repetidas, ele pode ser orgânico ou inorgânico, sintético ou natural. A palavra polímero origina-se do grego *poli* (muitos) e *mero* (unidade de repetição), sendo que os *meros* se ligam entre si por meio de ligações primárias, covalentes e estáveis (MANRICH, 2013).

A variação do tamanho das cadeias poliméricas está relacionada com o peso molecular do polímero, sendo as propriedades mecânicas e o comportamento do polímero ao ser processado dependentes do tamanho médio e da distribuição e comprimento destas cadeias poliméricas. Pesos moleculares diferentes para uma mesma estrutura polimérica podem mudar totalmente as propriedades do polímero, por este motivo são caracterizados principalmente pelo peso molecular (PIVA,2014).

Existe uma grande variedade de resinas, sendo as mais usadas, o polipropileno (PP) e o polietileno (PE), juntos representam mais de 68% do total comercializado no Brasil (NEDER; BACIC; SILVA, 2009).

2.3.1 Polietileno

As resinas de polietileno são as que possuem a estrutura mais simples, além do baixo custo, apresentam boas propriedades físico-químicas, extrema regularidade e flexibilidade de suas cadeias, possuindo muitas aplicações. Devido ao processo de polimerização, densidade, reticulação, o polietileno pode apresentar diferentes propriedades (PIVA, 2014).

Dentre as variações de polietilenos têm-se os mais utilizados para fabricação de embalagens flexíveis como: o polietileno de baixa densidade (PEBD), que apresenta baixa condutividade elétrica e térmica, é atóxico, resistente contra ações de substâncias químicas e possui propriedades mecânicas diversas. O polietileno de baixa densidade linear (PEBDL), que difere-se do PEBD por ser menos translúcido, ter processabilidade mais difícil e ser mais resistente mecanicamente. Tem-se também o polietileno de alta densidade (PEAD), é um material mais opaco devido a maior densidade, possui alta cristalinidade, melhores propriedades mecânicas que o PEBD e PEBDL, é mais resistente e de fácil processamento (MUSSAK, 2016).

2.4 CARGAS

As cargas são materiais usados para preencher a formulação de um filme, com o objetivo principal de reduzir custos, como o talco, caulim, serragem e outros polímeros reciclados. Além deste tipo de carga que não conferem nenhum ganho adicional de propriedades para o filme plástico, tem-se as cargas reforçantes, cuja

adição na formulação dos filmes, melhoram as propriedades mecânicas, principalmente o módulo de elasticidade e a resistência mecânica, cargas cerâmicas e fibra de vidro são alguns exemplos (CANEVAROLO, 2013).

2.5 PIGMENTOS, CORANTES E *MASTERBATCHES*

Ambos possuem a função de conferir cor aos filmes, por isto são denominados colorantes, afetam as propriedades de uma formulação, pois possuem propriedades próprias, como a resistência a condições ambientais, transparência, aprovação para contato com alimentos, etc. (COLTRO, 2017). Dentre as técnicas de coloração mais usadas para a produção de filmes flexíveis termoplásticos, tem-se os *masterbatches*, que são concentrados de pigmentos dispersos em um polímero conhecido como resina veículo, um pequeno percentual destes concentrados é utilizado no processo de extrusão junto as resinas virgens, conferindo cor ao produto acabado. O *masterbatch* possui formato de grânulos chamados de *pellet* (VIEIRA, 2005).

O motivo para o uso desta técnica é que os concentrados apresentam melhor dispersão na própria resina, quando comparados a colorantes líquidos ou em pó, uniformidade na cor, alto poder de tingimento, sendo que eles também minimizam o risco de abrasão nas extrusoras e facilitam a troca de cores e limpeza do equipamento (DUTRA, 2009).

2.5.1 Dióxido de titânio (TiO₂)

As principais colorações usadas em filmes flexíveis são a cor branca, ou ainda, sem nenhuma pigmentação. Dentre os pigmentos brancos, o dióxido de titânio (TiO₂) é o material mais utilizado. Ele interage com a luz de forma diferente de pigmentos coloridos, enquanto nos pigmentos coloridos a luz é absorvida, nos pigmentos brancos esta interação ocorre por meio do espalhamento da luz, onde a luz será desviada para fora, assim o filme se mostrará opaco e branco (VIEIRA, 2005).

2.6 ADITIVOS

Os aditivos são materiais usados na formulação dos filmes para conferir melhores características, tanto no processamento dos polímeros, quanto em suas propriedades físico-químicas (CANEVAROLO, 2013).

Existe grande variedade de aditivos para aplicações específicas que podem ser incorporados a fim de melhorar o produto final, como: antibloqueios, deslizantes, antiestáticos e auxiliares de fluxo, sendo que o uso depende da aplicação do filme (PIVA, 2014).

2.7 PROCESSO PRODUTIVO DE FILMES

As embalagens flexíveis são produzidas por meio de filmes plásticos que podem ser obtidos por diferentes processos de transformação, ou combinação entre processos, como: extrusão, coextrusão, laminação, biorientação e aplicação de revestimento (*coating*) (TEIXEIRA; ITO, 2017).

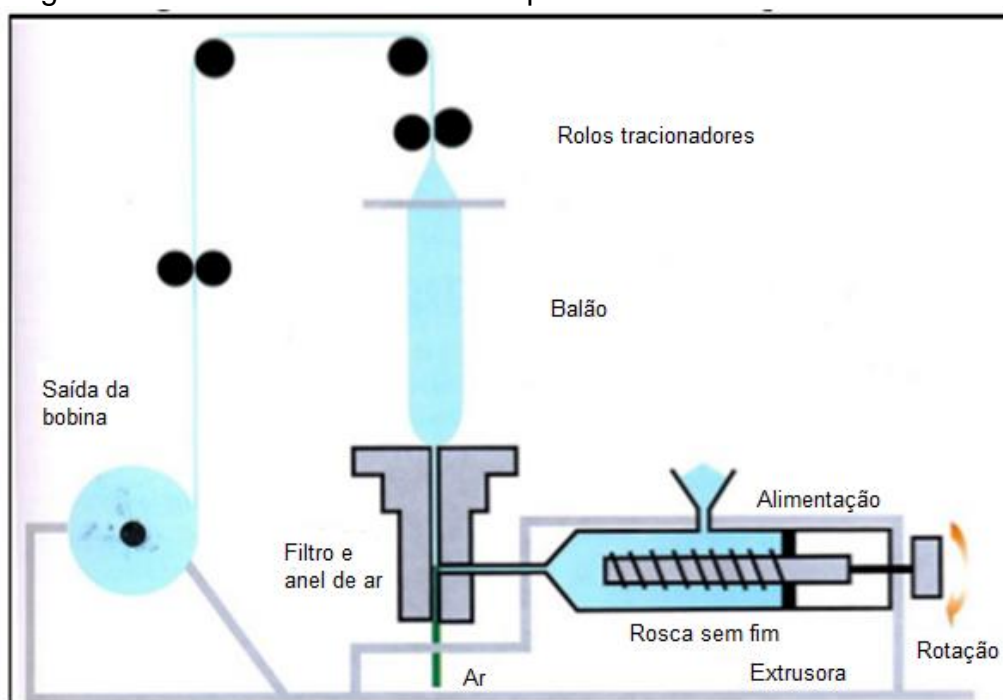
2.7.1 Processo de coextrusão balão

Dá-se o nome de extrusão ao processo de conformação das resinas em filmes plásticos, onde o equipamento responsável por esta transformação é a extrusora. Dentre os componentes básicos de uma extrusora, tem-se um cilindro metálico aquecido por resistência elétrica, dentre o qual gira a rosca de extrusão, este conjunto é responsável pelo transporte, mistura e plastificação dos polímeros em um processo contínuo que força a mistura fundida alimentada em uma das extremidades, a passar por uma matriz para a conformação (PIVA, 2014).

O processo de extrusão de filmes tubulares ou balão é o método mais usado para produção de filmes flexíveis, neste método a diferença está na matriz utilizada que possui formato circular, sendo que o perfil tubular largo é obtido inflando-se com ar na parte inferior do material extrusado, o filme inflado possui formato de balão que é puxado e esticado nas direções longitudinal e transversal. A largura e a espessura dos filmes produzidos por estes métodos podem ser controladas através da velocidade do estiramento e diâmetro do balão, o que permite obter filmes de maiores larguras comparados a outros processos (SANTOS, 2013).

Algumas embalagens exigem características específicas que podem ser obtidas utilizando uma mistura de resinas poliméricas e aditivos ou ainda pelo processo de conformação multicamadas. Este processo de conformação por camadas é conhecido como Extrusão Coex, ou coextrusão, onde utiliza-se mais de uma rosca para a extrusão, sendo que estas afluem para a mesma matriz e formam camadas distintas, deste modo pode-se obter filmes com propriedades variadas (PIVA, 2014). A Fig. 1 apresenta o processo de extrusão balão.

Figura 1: Extrusão tubular de filmes plásticos.



Fonte: Adaptado de Piva (2014)

De forma geral os filmes multicamadas possuem as camadas de acabamento, responsáveis por características como brilho, transparência, aspecto visual, geralmente é a camada mais externa onde aplicam-se os *masterbatches*, as camadas de estrutura, que conferem boas propriedades mecânicas aos filmes e as camadas de barreira, que possuem função de reduzir a permeabilidade do filme a umidade, oxigênio, gás carbônico e outros gases, em alguns casos utilizam-se também as chamadas camadas de adesão, que são usadas quando duas camadas apresentam incompatibilidade de materiais, promovendo adesão entre estas camadas (FONSECA, 2014).

2.8 CARACTERIZAÇÃO DE FILMES FLEXÍVEIS PIGMENTADOS

Após a produção de filmes flexíveis pigmentados, são realizados ensaios a fim de atestar a qualidade específica dos mesmos, a faixa adequada dessas propriedades dependem do uso de cada tipo de filme e exigências de clientes (MANRICH, 2013).

2.8.1 Opacidade

A opacidade (transparência) é uma propriedade ótica assim como a cor, algumas embalagens plásticas necessitam de proteção contra incidência de luz, assim é importante que se tenha uma transparência baixa ou nula, é o caso das embalagens pigmentadas. Uma embalagem flexível é dita transparente quando a luz incidente sobre ela atravessa com o mínimo de absorção ou reflexão, ao contrário disto o filme é classificado como opaco, ou seja, a opacidade mede o percentual de luz refletida e/ou absorvida pelo filme, sendo que esta medição pode ser feita via espectrofotômetro (RIGO, 2006).

2.8.2 Teor de cinzas

Esta análise determina a quantidade de material inorgânico presente nos compostos na forma de óxidos. Em concentrados a base de TiO_2 e filmes pigmentados brancos, quando estes são queimados a elevadas temperaturas, o material restante após a queima é chamado de cinza, que representa o percentual de TiO_2 da amostra analisada, em outras palavras, pode-se determinar a quantidade de pigmento presente na amostra, sendo que quanto maior a porcentagem de pigmento de um filme maior será a sua opacidade (MUSSAK, 2016).

2.8.3 Caracterização física mecânica e dimensional

A determinação de características físicas e dimensionais dos filmes, permite prever o desempenho destes e diagnosticar problemas observados em qualquer etapa do processo produtivo. No processo de fabricação de embalagens existem especificações a serem seguidas a fim de se obter um produto final de

qualidade, a gramatura e espessura dos filmes por exemplo, determinam a quantidade de material presente em uma estrutura e tem relação direta com propriedades mecânicas e de barreira dos filmes plásticos (TEIXEIRA et al., 2017).

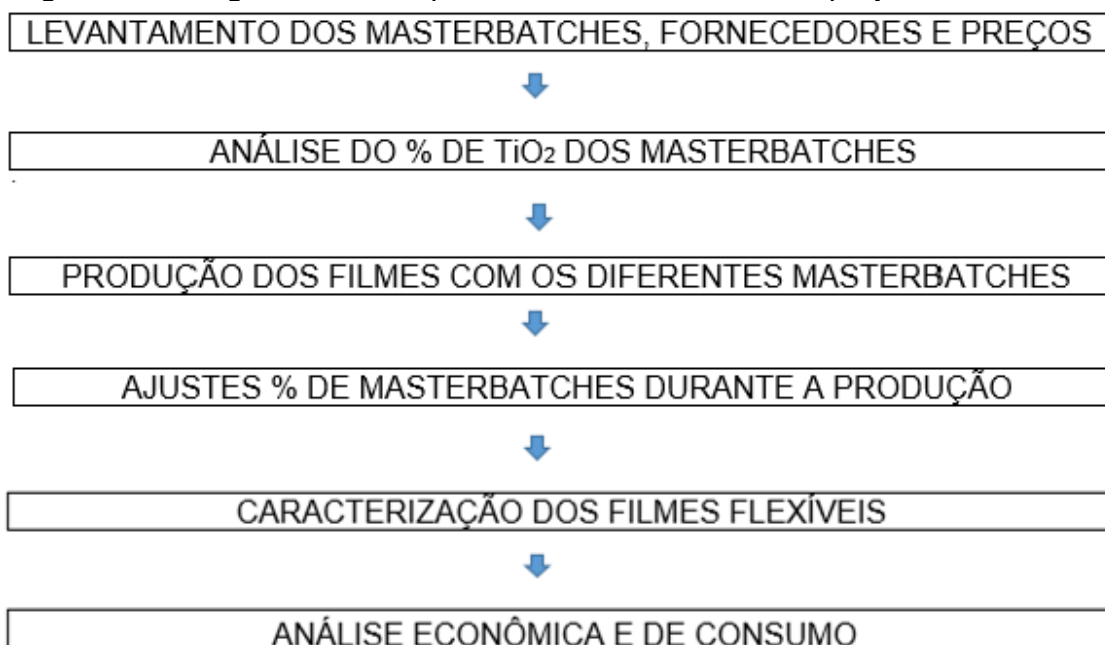
As propriedades mecânicas por sua vez, buscam prever a resposta dos filmes, as influências mecânicas externas, estando relacionadas com a capacidade do material de desenvolver deformações reversíveis e irreversíveis e apresentar ruptura (RIGO, 2006).

Dentre as principais análises físicas e mecânicas dos filmes destacam-se: o coeficiente de fricção (COF), que mede o atrito existente entre duas superfícies, a resistência ao impacto que determina a energia expressa em peso (massa) que causa ruptura em um filme, além das análises de resistência a tração e alongamento, ambas são obtidas em um mesmo ensaio, alongando-se uma amostra até a sua deformação máxima (alongamento) e consequente ruptura (tração) (DÁRIO, 2011).

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O trabalho foi realizado na Empresa Canguru Plásticos Ltda, localizada na cidade de Criciúma, onde avaliou-se o processo de extrusão de filmes flexíveis pigmentados brancos, seguindo as etapas descritas no fluxograma representado pela Fig. 2.

Figura 2: Fluxograma das etapas do desenvolvimento do projeto.



Fonte: Do autor (2019)

3.1 LEVANTAMENTO DOS *MASTERBATCHES*, FORNECEDORES E CUSTOS

Foi verificado junto ao setor de compras e almoxarifado da Empresa Canguru Plásticos Ltda, quais os *masterbatches* brancos atualmente homologados e com distribuição regular para o processo de extrusão de filmes, bem como, fornecedores e custos.

3.2 ANÁLISE DO % DE TiO₂ DOS *MASTERBATCHES*

A fim de comprovar o real percentual de TiO₂ presente nos *masterbatches* fornecidos, foi realizado a análise de teor de cinzas e o resultado encontrado foi comparado com o laudo enviado pelos fornecedores.

3.3 PRODUÇÃO DOS FILMES COM OS DIFERENTES *MASTERBATCHES*

O teste foi realizado durante a extrusão de um lote de filmes pigmentados de polietileno em uma coextrusora tipo balão de 3 camadas modelo Carnevalli 2001. Foi utilizado como referência o pigmento A, atual *masterbatch* utilizado pela Empresa. Manteve-se constantes a espessura do filme em 130 μ e a opacidade em 82%, a fim de não ocorrer variações no percentual de dosagem de pigmento.

Durante o *setup* de máquina foram feitos os ajustes e dosagens das matérias-primas de acordo com as especificações da ordem de produção. A cada tiragem (bobina produzida) foram mantidas constantes todas as matérias-primas usadas na formulação e os parâmetros de máquina, alterando somente os tipos de *masterbatches* a fim de se obter um comparativo entre as bobinas produzidas com cada pigmento a ser testado.

3.4 AJUSTES DO % DE *MASTERBATCH* DURANTE O PROCESSO

Após os ajustes iniciais seguindo as especificações de dosagem de pigmento da ordem de produção, o operador da máquina retirou uma amostragem e verificou se o resultado de opacidade estava conforme o padrão, fazendo ajustes quando necessário. A cada troca de bobina o *masterbatch* foi substituído e ajustado o percentual de dosagem quando necessário, através dos resultados de opacidade.

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES FLEXÍVEIS

A cada bobina produzida retirou-se uma amostra de aproximadamente 3 metros e levou-se ao laboratório para verificação do teor de cinzas, opacidade, espessura, alongamento, resistência a tração, resistência ao impacto e coeficiente de atrito.

3.5.1 Teor de cinzas

A análise foi realizada conforme procedimento interno da Empresa, descrito nas seguintes etapas:

- 1º) pesar um cadinho de porcelana em balança analítica e anotar o peso inicial (PI);
- 2º) pesar 3g de amostra no cadinho de porcelana e anotar o peso da amostra (PA);
- 3º) calcinar a amostra em mufla a 600°C por uma hora;
- 4º) retirar a amostra da mufla e deixar esfriar em dessecador para obtenção das cinzas;
- 5º) adicionar às cinzas 5mL de ácido clorídrico P.A.;
- 6º) filtrar a solução de cinza e ácido clorídrico com papel filtro quantitativo faixa azul;
- 7º) calcinar novamente a amostra filtrada junto ao papel filtro em mufla a 600°C por uma hora;
- 8º) pesar a amostra final (PF) e descontar o peso das cinzas do papel (PP).

O resultado foi obtido em percentual por meio da aplicação da Eq. (1).

$$\text{Teor de cinzas} = \frac{PF - PI - PP}{PA} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

PF = peso final do cadinho com as cinzas (g);

PI = peso inicial do cadinho vazio (g);

PP = peso das cinzas do papel filtro (g);

PA = peso da amostra (g).

3.5.2 Espessura

A espessura das amostras foi determinada com base na norma ASTM D-347 utilizando um micrômetro digital *Mitutoyo Absolute ID C 112x13*, representado na Fig. 3. Cortou-se alternadamente com auxílio do gabarito, 5 corpos de prova isentos de rugas, vincos e sujeiras. Efetuou-se uma medição em cada corpo de prova no relógio comparador a fim de se ter uma média dos valores medidos.

Figura 3: Espessura.



Fonte: Do autor (2019)

3.5.3 Opacidade

A opacidade foi medida por meio de espectrofotômetro *x-rite exact advanced* que mede a luz refletida pela amostra em um ângulo fixo de 45° em relação a amostra, o substrato usado para a medição foi a cartela padrão leneta modelo 3B preta e branca, conforme procedimento descrito na norma ASTM D-589.

Para encontrar o resultado de opacidade, pegou-se uma amostra do filme a ser analisado, mediu-se primeiramente o filme com o equipamento sobre a área preta do papel leneta e depois mediu-se novamente sobre a parte branca, obtendo-se o resultado. A Fig. 4 apresenta o equipamento realizando a leitura de opacidade.

Figura 4: Medição de opacidade.



Fonte: Do autor (2019)

3.5.4 Alongamento e resistência a tração

O alongamento e resistência a tração das amostras foram determinados com base na norma ASTM D-882 utilizando o equipamento de ensaios universal EMIC DL 500N e os parâmetros para realização dos ensaios foram: velocidade de 500mm/min e distância entre garras de 50mm.

Com auxílio do gabarito, cortou-se três corpos de prova de cada estrutura na direção de máquina e transversal. Os corpos de prova foram submetidos a máquina de ensaio mecânico (Fig. 5) no qual é ligada a um microcomputador que contém um software que gera um relatório com a força média exigida pelo ensaio expressa em Kgf e o percentual (%) de alongamento do corpo de provas.

Figura 5: Testes mecânicos.



Fonte: Do autor (2019)

3.5.5 Resistência ao impacto

Para a realização do ensaio de impacto foi utilizado um equipamento de fabricação própria da Empresa seguindo a norma ASTM D 1709. Foi cortado algumas amostras usando gabarito, após fixou-se no equipamento *Dart Drop* (Fig. 6), posicionou-se o dardo à 66 cm de altura e soltou-se o dardo de modo a avaliar o peso mínimo que rompa as amostras.

Figura 6: Resistência ao impacto.



Fonte: Do autor (2019)

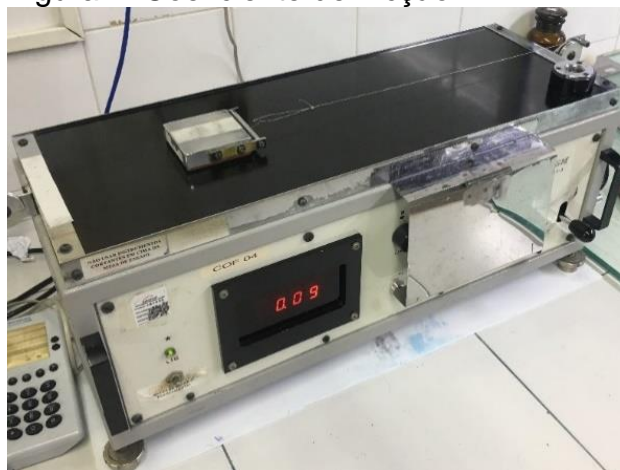
3.5.6 Coeficiente de fricção (COF)

Os ensaios de fricção (COF) foram realizados de acordo com a norma ASTM D-1894, utilizando um equipamento para medição do coeficiente de fricção DSM COF-3 (Fig. 7) a uma velocidade de 150 mm/minuto e com um “carrinho” de 200g.

Foram cortados 5 pedaços de cada amostra nas dimensões 150 x 350mm. Cortou-se também 5 corpos de prova utilizando o gabarito de 75 x 200mm (todos na direção de máquina). Fixou-se o pedaço de filme maior no aparelho de COF e o corpo de prova no móvel do aparelho, cobrindo totalmente a borracha. Encaixou-se o cordão no filme móvel, zerou-se o equipamento, e acionou-se o aparelho até o móvel

percorrer aproximadamente 1/3 da mesa. A variação mostrada pelo display foi analisada e registrou-se a média aproximada.

Figura 7: Coeficiente de fricção.



Fonte: Do autor (2019)

3.6 ANÁLISES ECONÔMICA E DE CONSUMO

Após ter os valores padronizados das quantidades de *masterbatches* necessárias para atingir o valor de opacidade padrão especificado, e tendo o levantamento de preços de cada pigmento usado na produção dos filmes pigmentados, foi feito um cálculo comparativo de consumo entres os materiais testados. Como base de cálculo, foi levado em consideração a quantidade em Kg produzidos no lote analisado, um total de 7600 Kg, a fim de determinar qual dos tipos de *masterbatches* apresenta melhor consumo, em paralelo ao consumo foi feito uma análise econômica, para elencar quais os pigmentos que apresentam melhor custo-benefício.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos a partir dos testes realizados neste projeto.

4.1 LEVANTAMENTO DOS *MASTERBATCHES*, FORNECEDORES E PREÇOS

Foi realizado um levantamento de todos os *masterbatches* e fornecedores

homologados pela Empresa Canguru, bem como o preço, conforme Tab. 1. Os dados coletados são referentes ao segundo semestre de 2019.

Tabela 1: *Masterbatches*, fornecedores e preços do 2º semestre de 2019.

<i>Masterbatch</i>	% TiO ₂	Fornecedor	Preço/Kg
A	75%	I	R\$ 11,84
B	75%	II	R\$ 12,62
C	75%	III	R\$ 11,19
D	70%	I	R\$ 10,12
E	70%	II	R\$ 10,85
F	70%	III	R\$ 10,20
G	70%	III	R\$ 10,06

Fonte: Do autor (2019)

Conforme esperado, os *masterbatches* com maior quantidade de TiO₂ em sua composição são os que possuem maior custo, porém verifica-se que há uma variação de preço entre pigmentos com o mesmo percentual de TiO₂ e até do mesmo fornecedor. Essa variação de preços conforme a concentração de TiO₂ poderá ser analisada melhor após avaliação do consumo dos pigmentos em máquina.

4.2 ANÁLISE DO % DE TiO₂ DOS MASTERBATCHES

Após o levantamento dos *masterbatches*, foi realizado as análises de teor de cinzas, com intuito de atestar se os resultados obtidos condizem com o laudo apresentado pelos fornecedores. A Tab. 2 apresenta os resultados de teor de cinza.

Tabela 2: Percentual de TiO₂ nos *masterbatches*.

<i>Masterbatch</i>	Padrão cinzas (%)	Cinzas fornecedor (%)	Cinzas Canguru (%)
A	73 – 77	74,60	74,40
B	73 – 77	74,50	74,35
C	73 – 77	75,20	74,82
D	68 – 72	70,00	69,33
E	68 – 72	69,86	69,18
F	68 – 72	70,00	70,00
G	68 – 72	69,00	73,32

Fonte: Do autor (2019)

Conforme a Tab. 2, todos os resultados estão dentro das tolerâncias

exigidas pela Canguru, com excessão do *masterbatch* G, que apresentou resultado acima do limite, porém, neste caso este resultado não causa problemas ao processo produtivo, uma vez que, quanto maior o percentual de TiO₂, menor será o consumo do pigmento durante a produção dos filmes.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES FLEXÍVEIS

A Tab. 3 apresenta os resultados dos testes de qualidade obtidos a partir de uma média de 5 medições.

Tabela 3: Caracterização dos filmes.

Análises	Padrão	A	B	C	D	E	F	G
Alongamento DM (%)	>300	838	715	729	800	837	713	751
Alongamento DT (%)	>400	907	851	913	874	920	762	862
Tração DM (Kgf)	>1,5	7,7	6,6	6,4	6,7	8,3	6,7	7,2
Tração DT (Kgf)	>1,0	7,3	7,1	6,8	8,6	8,3	6,3	6,9
Impacto (g)	>250	641	641	591	751	641	649	670
COF Tratado	0,10 - 0,50	0,43	0,34	0,3	0,45	0,48	0,47	0,35
COF Não Tratado	0,10 - 0,50	0,15	0,14	0,16	0,14	0,15	0,15	0,15

Fonte: Do autor (2019)

Nesta etapa não ocorreram variações significativas, todos os filmes analisados apresentaram bons resultados, atendendo as especificações da Empresa.

As características físicas e mecânicas dos filmes se dão principalmente pelo tipo de resina utilizada, sofrendo pouca influência do tipo de *masterbatch* usado no processo. Segundo Mano e Mendes (1999), as propriedades físicas do polietileno dependem de sua massa molar, distribuição de massa molar e das ramificações. Quanto menor as ramificações, maior o grau de cristalinidade do polietileno. Estes fatores interferem nas propriedades, deixando o filme mais rígido ou mais flexível, com maior ou menor alongamento, com maior ou menor resistência mecânica, com maior ou menor permeabilidade.

Piva (2014), reforça que as propriedades mecânicas e o comportamento do polímero durante o processamento dependem do tamanho médio e da distribuição das cadeias poliméricas, onde diferentes pesos moleculares podem mudar completamente as propriedades do polímero, interferindo nas propriedades físicas, mecânicas, térmicas, reológicas, e processamento, e por esta razão, os polímeros são caracterizados principalmente por seu peso molecular.

4.4 ANÁLISE DO TEOR DE CINZAS DOS FILMES

A análise de teor de cinzas foi realizada com o intuito de verificar se a quantidade de TiO_2 encontrada nas amostras dos filmes condizem com a dosagem de *masterbatches* utilizada na produção, sendo que o padrão para esta análise leva em consideração o percentual de TiO_2 do *masterbatch* e sua dosagem em máquina. A Tab. 4 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 4: Teor de cinzas dos filmes.

Pigmento	% Cinzas	Padrão
A	3,47%	2,5% - 3,5%
B	3,49%	2,5% - 3,5%
C	3,36%	2,5% - 3,5%
D	3,15%	3,0% - 4,0%
E	3,85%	2,86% - 3,86%
F	3,51%	2,86% - 3,86%
G	3,58%	2,58% - 3,58%

Fonte: Do autor (2019)

Conforme Tab. 4, todos os filmes apresentaram resultados dentro dos limites de aceitação, comprovando que a dosagem programada na máquina corresponde com a realidade do processo e reforçando a confiabilidade dos resultados de consumo da matéria-prima e cálculos de eficiência do processo.

4.5 ANÁLISES ECONÔMICA E DE CONSUMO

A tab. 5 apresenta os resultados de teor de cinzas e TiO_2 , bem como o percentual de *masterbatch*/consumo necessário para se atingir o valor padrão de opacidade dos filmes produzidos, além do custo total de *masterbatch* usado na produção do lote analisado.

Tabela 5: Padronização do % de *masterbatch* no filme.

Pigmento	% TiO_2	Consumo Pigmento	Custo Pigmento/Kg	Custo Produção
A	75	4,0%	R\$ 11,84	R\$ 3.599,36
B	75	4,0%	R\$ 12,62	R\$ 3.836,48
C	75	4,0%	R\$ 11,19	R\$ 3.401,76
D	70	5,2%	R\$ 10,12	R\$ 3.999,42
E	70	4,8%	R\$ 10,85	R\$ 3.958,08
F	70	4,8%	R\$ 10,20	R\$ 3.720,96
G	70	4,4%	R\$ 10,06	R\$ 3.364,06

Fonte: Do autor (2019)

Nota-se que quanto maior o grau de pureza do *masterbatch*, ou seja, quanto maior o % de TiO_2 em sua composição, menor a quantidade necessária para se atingir um mesmo valor de opacidade, sendo que a dosagem é muito maior nos *masterbatches* que possuem 70% de TiO_2 .

Em relação ao custo de *masterbatch* usado durante a produção tem-se os pigmentos C e G como mais rentáveis quando comparados ao pigmento A utilizado pela Empresa e em relação aos demais testados. O pigmento C teve um custo de produção 5,5% menor que o A e o G 6,5% menor. Uma observação para o pigmento G é o fato de estar acima da tolerância no percentual de TiO_2 no *masterbatch* o que corroborou para o resultado de melhor rentabilidade quando comparado aos pigmentos de mesma concentração. Os demais *masterbatches* apresentaram menor custo-benefício em comparação ao atual padronizado.

Levando em conta o grande volume de produção da Empresa, esta pequena redução no percentual de consumo de *masterbatch* significa uma enorme economia para o processo. No ano de 2019 até o mês de setembro a produção de filmes pigmentados brancos se encontra em aproximadamente 3,6 toneladas, o que resultaria em uma economia de R\$ 94.163,19 usando o *masterbatch* C e R\$ 112.126,62 utilizando o G.

5 CONCLUSÕES

Foi possível analisar por meio deste trabalho que as matérias-primas utilizadas para a produção de filmes flexíveis apresentam oscilações de preços de acordo com fornecedores, sobretudo os *masterbatches*, que também variam de acordo com o percentual de TiO_2 em sua composição e representam um custo representativo do produto final.

Destaca-se neste projeto, a importância do controle de matéria-prima utilizada no processo, para a garantia de qualidade do produto final. Dentre as amostras testadas todas estavam dentro da faixa de tolerância especificada pela Empresa para quantidade de TiO_2 , com exceção do *masterbatch* G, onde este percentual se apresentou superior.

As análises de qualidade dos filmes apresentaram-se dentro dos padrões, uma vez que, as propriedades dos filmes se dão principalmente pelo tipo de resina polimérica utilizada e aditivos, sofrendo pouca influência do tipo de *masterbatch*.

Constatou-se que nos *masterbatches* com menor teor de TiO_2 foi necessário uma quantidade maior para atingir um mesmo valor de opacidade do filme, enquanto nos que continham 75% de TiO_2 , utilizou-se 4%, nos de 70% este percentual variou de 4,4% a 5,2%.

De acordo com os resultados obtidos durante o estudo verificou-se que existem outras opções no mercado capazes de atender os parâmetros de qualidade exigidos pela Empresa, expandindo a gama de fornecedores, além de gerar economia no processo produtivo e também no custo do produto final para os consumidores.

Como sugestão para trabalhos futuros indica-se avaliar outras matérias-primas utilizadas durante o processo de extrusão, como as resinas, aditivos e as cargas, afim de reduzir custos com o processo produtivo, mantendo a mesma qualidade do produto final.

REFERÊNCIAS

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

COLTRO, Leda. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**: aditivos para embalagens plásticas flexíveis. 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 20 p.

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

DUTRA, Regiane Defácio. **Estudo da dispersão de pigmentos orgânicos em resina de polipropileno para aplicação em fibras e filamentos**. 2009. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/792/2660.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

FERIAN, Jessica Marques; CURSINO, Pedro Ernesto de Souza; MAZZEO, Taciane Tereza de Bragança. **Criação e Desenvolvimento de Embalagens**

Sundown®. 2004. 123 f. TCC (Graduação) - Curso de Publicidade e Propaganda, Universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, 2004. Disponível em: <<http://biblioteca.univap.br/dados/00002e/00002e48.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

FERRADOR, Tatiana. A história da embalagem no Brasil. In: ASSUNTA NAPOLITANO CAMILO (São Paulo). Instituto de Embalagens. **Embalagens: design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2011. Cap. 1. p. 27-30.

FONSECA, Roberta Vergara da. **Avaliação de filmes coextrusados de pet/pebd e pet/evoh/pebd usados em embalagens para alimentos**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/59441/R%20-%20D%20-%20ROBERTA%20VERGARA%20DA%20FONSECA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

GARCIA, Eloísa Elena Corrêa; SARANTOPOULOS, Claire Isabel Grigoli de Luca; COLTRO, Leda. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**: materiais plásticos para embalagens flexíveis. 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 48 p.

LIMA, Cleyton Rebechi de. **História da embalagem: stand-up pouch**. 2015. 84 f. Monografia (Especialização) - Curso de Pós Graduação em Engenharia de Embalagem, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2015. Disponível em: <<https://maua.br/files/monografias/completo-historia-embalagem:-stand-pouch-210909.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução à polímeros**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 191p.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2013. 485 p.

MIRANDA, Olinda. Embalagem flexíveis. In: ASSUNTA NAPOLITANO CAMILO (São Paulo). Instituto de Embalagens. **Embalagens: design, materiais, processos, máquinas e sustentabilidade**. São Paulo: Instituto de Embalagens, 2011. Cap. 20. p. 157-163.

MUSSAK, Juliane. **Avaliação do consumo de pigmentos em diferentes percentuais de TiO_2 no processo de extrusão como resultado na opacidade final de filmes plásticos blow destinado a embalagens flexíveis**. 2016. 36 f.

Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia de Produção, Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina - Satc, Criciúma, 2016.

NEDER, Euler E.; BACIC, Miguel J.; Silva, Ana L. G da. O mercado brasileiro de resinas termoplásticas: concentração de mercado na cadeia produtiva e de fornecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 10., 2009, Foz do Iguaçu. **Anais do 10º congresso brasileiro de polímeros**. p. 1-9. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/584.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2019.

OTTERBACH, João Claudio H. **Processo de transformação de plásticos por extrusão de filmes tubulares**. Rio Grande do Sul: Senai, 2011. 29 f. Disponível em: <<http://www.respostatecnica.org.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTY0NA>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

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

RIGO, Lisandra Naiara. **Desenvolvimento e caracterização de filmes comestível**. 2006. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Erechim, 2006. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/eal_hp/DissertPDF/Turma2004/DissertLisandraRigo2006.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SANTOS, Marcel Ferrari dos. **Desenvolvimento de filmes monocamada PEBDL e PEAD antimicrobianos e atóxicos para aplicação em embalagens flexíveis**. 2013. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense – Unesc, Criciúma, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/2285/1/Marcel%20Ferrari%20dos%20Santos.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

TEIXEIRA, Fábio Gomes; COLTRO, Leda; BORGES, Daniele Fidelis; SOARES, Beatriz Maria Curtio; MOREIRA, Christiane Quartaroli. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**: caracterização física e dimensional. 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 52 p.

TEIXEIRA, Fábio Gomes; ITO, Danielle. **Embalagens plásticas flexíveis: principais polímeros e avaliação de propriedades**: tipos, formatos e terminologia. 2. ed. Campinas: Cetea/ital, 2017. 16 p.

VIEIRA, Gabriela Maier. **Determinação da concentração de dióxido de titânio utilizado como pigmento branco em masterbatches e análise colorimétrica.** 2005. 56 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/52611479-Universidade-federal-de-santa-catarina.html>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida, a Empresa Canguru Plásticos Ltda. e sua equipe de laboratório pela oportunidade do projeto e suporte, a Juliane Mussak pelo auxílio na execução do projeto e pelas informações agregadas ao trabalho. E por fim, a minha orientadora Josiane por todo conhecimento e ajuda na elaboração do projeto.