



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**FABIANO DOS SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UMA  
BLENDAS POLIMÉRICA DE POLIESTIRENO**

**DISSERTAÇÃO - MESTRADO**

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2018**

**FABIANO DOS SANTOS**

**CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE UMA  
BLENDAS POLIMÉRICAS DE POLIESTIRENO**

Dissertação de mestrado apresentado como requisito de defesa de Pesquisa Científica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Cornélio Procópio.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami

**CORNÉLIO PROCÓPIO**

**2018**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Câmpus Cornélio Procópio  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica



**Título da Dissertação Nº 031:**

## **“Caracterização do Comportamento Mecânico de uma Blenda Polimérica de Poliestireno”.**

por

**Fabiano Dos Santos**

Orientador: **Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami**

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de **MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA** – Área de Concentração: **Ciências Mecânicas**, linha de pesquisa: **Caracterização dos Materiais Aplicados em Engenharia**, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica – PPGEM – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Cornélio Procópio, às 08h30 do dia 14 de setembro de 2018. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:

---

Prof. Dr. Rogério Akihide Ikegami  
(Orientador – UTFPR-CP)

---

Prof. Dr. Romeu Rony Cavalcante Da Costa  
(UTFPR-CP)

---

Prof. Dr. Rodolfo Alexandre Hildebrandt  
(SENAI – Unidade Londrina)

Visto da coordenação:

---

Prof. Dr. Vagner Alexandre Rigo  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
UTFPR Câmpus Cornélio Procópio

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a toda minha família:

À minha esposa Silvania Garcia e aos meus filhos Lívia, Leonardo e Luca os meus sinceros agradecimentos com amor pelo incentivo e paciência nos momentos difíceis.

Obrigado em poder nesta vida eu fazer parte da vida de vocês.

## AGRADECIMENTOS

O meu primeiro agradecimento é dirigido aos Professores da UTFPR Câmpus Cornélio Procópio por todo o auxílio prestado e ensinamentos transmitidos, em especial o Professor Doutor Rogério Akihide Ikegami, por aceitar ser meu orientador, dando a oportunidade de poder fortalecer ainda mais a amizade desenvolvida ao longo dos anos, o meu muito obrigado.

Ao Professor Doutor Romeu Rony Cavalcante da Costa gostaria de agradecer a oportunidade da realização dos meus experimentos em seu laboratório de materiais, de todo o apoio, orientação, disponibilidade e paciência e a principal parte, seus conselhos que evidenciou minha retomada do foco nos objetivos.

Ao mestrando Enio Henrique Pires da Silva e os demais colaboradores do laboratório de materiais compósitos – LMC da UTFPR Câmpus Cornélio Procópio pelo auxílio e disponibilidade para a realização dos ensaios.

Ao Departamento de Engenharia Mecânica da UTFPR Câmpus Curitiba sede Ecoville que através do Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental – NUFER - Laboratório de Processamento de Polímeros que nos receberam e disponibilizaram suas instalações e maquinários, auxiliando para a geração dos corpos de prova.

Ao Professor Doutor Marcio Mendonça, pelas sugestões do trabalho e conselhos de vida no decorrer de suas aulas.

Aos amigos que ganhei durante a minha jornada universitária, o meu muito obrigado! Todos os outros que não foram referidos, não deixaram de ser importantes e os momentos não serão esquecidos, também para esses o meu muito obrigado!

Por fim à minha família por todo o apoio, acompanhamento, motivação, e por terem sempre acreditado em mim, mãe e pai obrigado pelo vosso esforço em todos os sentidos, Flavia e Fernando, obrigado meus irmãos, Silvia Garcia obrigado pelas orações, de um modo geral a todos meus parentes que pelas redes sociais me agradeceram, fica minha retribuição de agradecimento por todo apoio que me deram.

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

## RESUMO

O Poliestireno (PS) é um material homopolímero, no qual é formado por apenas um monômero, este monômero é resultante da polimerização de estireno. Neste contexto, o principal foco deste trabalho é estudar o comportamento mecânico e físico de um polímero misturado com outros polímeros da mesma classe. A presença de outro tipo de polímero como agregador na formação de uma blenda polimérica, pode influenciar na orientação das cadeias moleculares e com isso alterar as propriedades. A blenda é uma terminologia adotada na literatura técnica sobre polímeros, para representar as misturas de dois ou mais polímeros, de forma que entre as cadeias moleculares dos polímeros diferentes só exista interação intermolecular secundária ou que não haja um elevado grau de reação química entre as cadeias moleculares dos polímeros. Uma blenda pode alterar as propriedades do material com relação aos polímeros puros e para essa verificação foram realizadas misturas entre três tipos de PS (500, 525 e 535) para avaliar as propriedades mecânicas e de inflamabilidade das blendas.

**Palavras-chave:** Blenda Polimérica. Poliestireno. Polímero. Propriedades Mecânicas.

## ABSTRACT

The Polystyrene (PS) this is homopolymer material, in which it is formed by only one monomer, this monomer is the result of the polymerization of styrene. This context, the head main focus of this study is the mechanical and physical behavior polymer when mixed with other polymers of the same class. Whit the presence of the other type of polymer as aggregator in the formation of a polymer blend, may influence the orientation of the molecular chains and thereby alter the properties. The blend is the terminology adopted in the technical literature on polymers for representing physical mixtures of two or more polymers, so that between the molecular chains of different polymers there is only secondary intermolecular interaction or there is not a high degree of chemical reaction between the molecular chains of the polymers. A blend may change the properties of the material relative to the pure polymers and for this verification were performed between three PS types (500, 525 and 535) to measure the mechanical properties and flammable of the blends.

**Keywords:** Polymer Blend. Polystyrene. Polymer. Mechanical Properties.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Formas isoméricas de encadeamento molecular.....	13
Figura 2 – Formas isoméricas configuracionais em reações de polimerização.....	14
Figura 3 – Representação de cadeias macromoleculares (a) Cadeia sem ramificações (b) Cadeias com ramificações e (c) Cadeia reticulada.....	15
Figura 4 – Estrutura dos diferentes tipos de polímeros, linear, ramificado e reticulado.....	17
Figura 5 – Distribuição dos monômeros, aleatórios, em blocos e enxertados.....	17
Figura 6 – Esquema de uma máquina injetora.....	19
Figura 7 – Disposição do corpo de prova na pinça de tração.....	22
Figura 8 – Corpo de prova utilizado no ensaio de tração.....	22
Figura 9 – Quatro tipos de comportamento em tração dos polímeros.....	23
Figura 10 – Correlação de imagens.....	24
Figura 11 – Tipo de curva obtida no ensaio de tração.....	24
Figura 12 – Testes de propriedade de flexibilidade.....	25
Figura 13 – Dimensões do corpo de prova.....	26
Figura 14 – Posição esquemática do corpo de prova.....	27
Figura 15 – Formação de Esferulitos.....	30
Figura 16 – Procedimento Metodológico.....	32
Figura 17 – Disposição do corpo de prova na capela.....	34
Figura 18 – Configuração das amostras.....	34
Figura 19 – Corpo de prova com pintura.....	36
Figura 20 – Máquina de tração e flexão.....	37
Figura 21 – Capela de ensaio.....	37
Figura 22 – Tração amostra 1.....	40
Figura 23 – Tração amostra 2.....	40
Figura 24 – Tração amostra 3.....	41
Figura 25 – Tração amostra 4.....	42
Figura 26 – Flexão amostra 1.....	43
Figura 27 – Flexão amostra 2.....	44
Figura 28 – Flexão amostra 3.....	45
Figura 29 – Flexão amostra 4.....	45

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Distribuição das Blendas .....	35
Tabela 2 – Resultados de Inflamabilidade .....	38
Tabela 3 – Condições classe HB .....	39
Tabela 4 – Comparativo de Inflamabilidade .....	39
Tabela 5 – Resultados de Tração .....	42
Tabela 6 – Resultados de Flexão.....	46
Tabela 7 – Resultados do Módulo de Elasticidade.....	46

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1 JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1 Objetivo geral .....	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>17</b>
3.1 Moldagem por Injeção .....	18
3.2 Inflamabilidade .....	20
3.3 Ensaio de Tração .....	21
3.4 Ensaio de Flexão.....	25
3.5 Equações para efeito de cálculo .....	27
3.6 Mecanismo de deformação para o aumento da resistência de polímeros .....	29
3.7 Transições Térmicas .....	29
3.7.1 Temperatura de Fusão Cristalina .....	29
3.7.2 Transição Vitrea .....	29
3.8 Cristalinidade.....	30
<b>4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO</b> .....	<b>31</b>
4.1 Materiais e Metodologia .....	34
4.1.1 Materiais.....	34
4.1.2 Metodologia.....	36
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>38</b>
5.1 Resultados de Inflamabilidade .....	38
5.2 Resultados de Tração .....	39
5.3 Resultados de Flexão.....	43
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>52</b>
ANEXOS A - Especificação de Produto PS 500.....	53
ANEXOS B - Especificação de Produto PS 520.....	54
ANEXOS C - Especificação de Produto PS 535 .....	55

## 1 INTRODUÇÃO

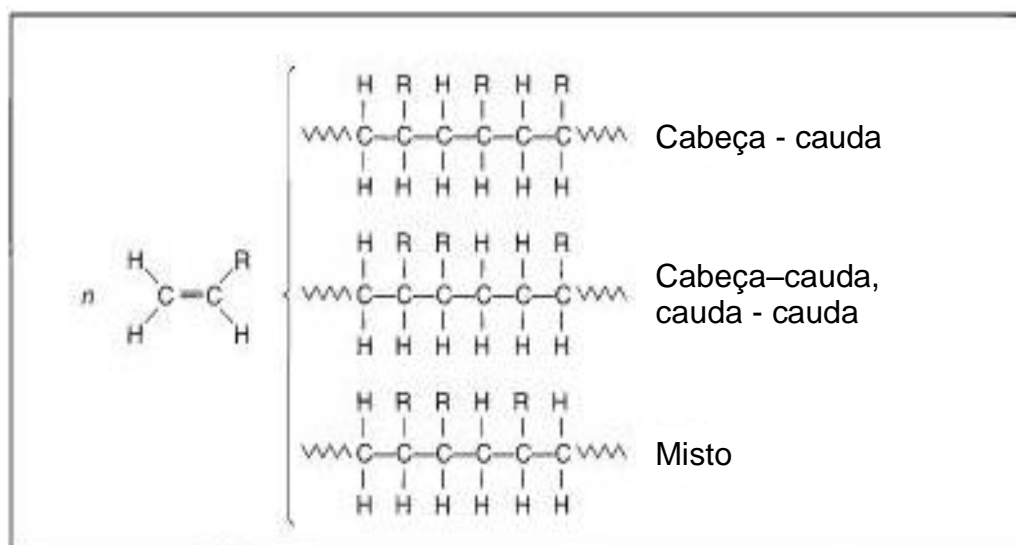
Atualmente os polímeros estão sendo amplamente utilizados em vários produtos, por consequência do desenvolvimento de novos polímeros. Nas últimas duas décadas, a evolução da ciência e a tecnologia aumentou a quantidade de Polímeros sintéticos produzidos em todo o mundo. Os polímeros têm relevantes benefícios como, resistência mecânica com baixo volume de massa, menor custo no processamento, se comparado com outros tipos de materiais (REIS, 2013).

Grande parte dos polímeros sintéticos são compostos produzidos pelo homem através da polimerização de moléculas simples, ou seja, formadas por apenas uma espécie de moléculas. Os polímeros sintéticos estão divididos em dois grupos diferentes: polímeros de adição e polímeros de condensação. Os polímeros de adição são formados por monômeros iguais que apresentam pelo menos uma ligação dupla, a qual é quebrada quando ocorre a reação de adição. Os polímeros de condensação são formados geralmente pela reação entre dois monômeros iguais ou diferentes, havendo a eliminação de moléculas pequenas durante a reação. Com polímeros sintéticos podem-se extrair vários produtos, entre os quais os plásticos, colas e tintas, entre muitos outros (STEVENS, 1999).

Segundo Mano (2004), as reações de polimerização de monômeros insaturados são geralmente reações em cadeia, isto é, as moléculas de monômero necessitam de um agente iniciador para que surja um centro ativo, que pode ser um radical livre ou íon. Esse centro ativo vai adicionando, rápida e sucessivamente, outras moléculas de monômero, surgindo uma cadeia em crescimento, com um centro ativo em uma de suas extremidades.

Em reações de polimerização, o encadeamento das unidades monoméricas pode ser feito na forma regular cabeça-cauda, cabeça-cabeça, cauda - cauda, ou mista, podendo gerar mais de um tipo de configuração macromolecular, como mostra a Figura 1 (MANO, 2004).

**Figura 1 – Formas isoméricas de encadeamento molecular.**



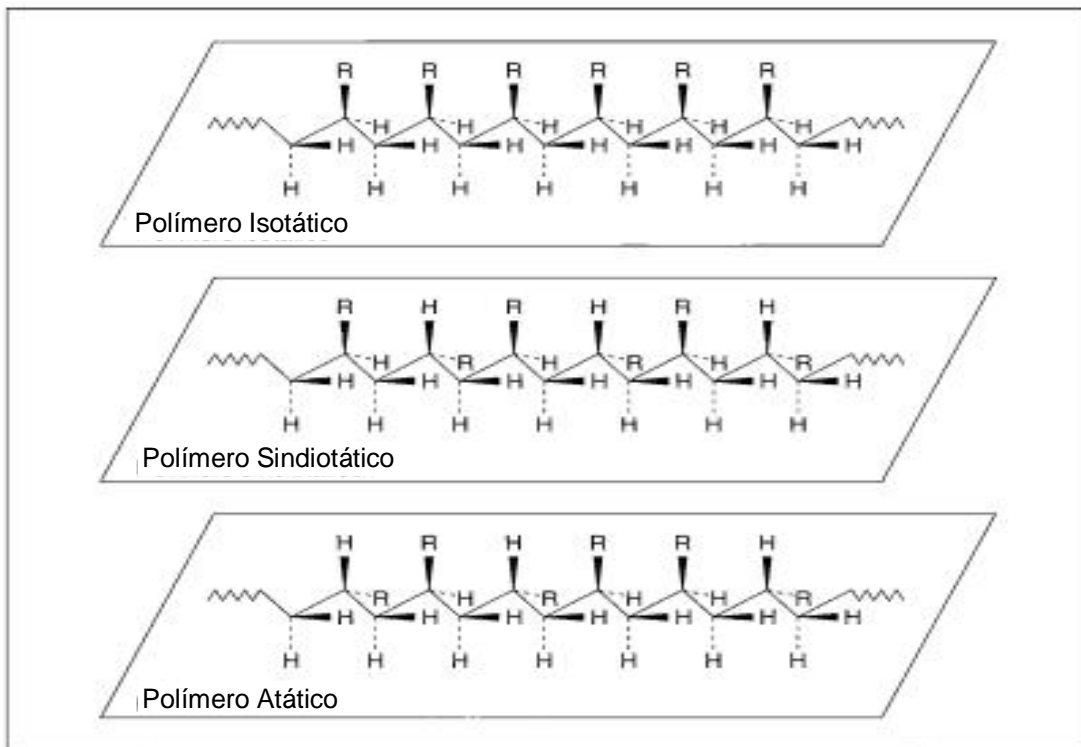
**Fonte: Mano (2004).**

Durante a polimerização podem surgir três casos durante as reações:

1. Todos os átomos de carbono assimétrico gerados distribuem-se ao longo da cadeia e tendo a mesma configuração molecular. Neste caso o polímero é chamado isotático;
2. Todos os átomos de um lado da cadeia, têm alternância de configuração e o polímero é designado sindiotático;
3. Não têm qualquer ordem, dispondo-se as configurações ao acaso, tratando-se então de um polímero atático ou heterotático. Nesse último caso, formam-se estereoblocos, isto é, segmentos de unidades repetidas de mesma configuração, formando blocos, que se sucedem sem obediência a leis de repetição reconhecida (MANO, 2004).

A macromolécula pode ser representada por sua cadeia principal, disposta em zigue-zague e estar apoiada sobre um plano. A Figura 2 ilustra as diferentes formas e a taticidade resultante das reações de polimerização de olefinas mono substituídas. Podem-se simbolizar as ligações dos átomos unidos à cadeia macromolecular por linhas cheias ou tracejadas, respectivamente, acima e abaixo desse plano. Verifica-se que, nos polímeros isotáticos, todos os substituintes se encontram do mesmo lado do plano, enquanto que, nos polímeros sindiotáticos, os substituintes estão alternadamente acima e abaixo do plano da cadeia principal, e nos atáticos, não há disposição preferencial (MANO, 2004).

**Figura 2 - Formas isoméricas configuracionais em reações de polimerização.**



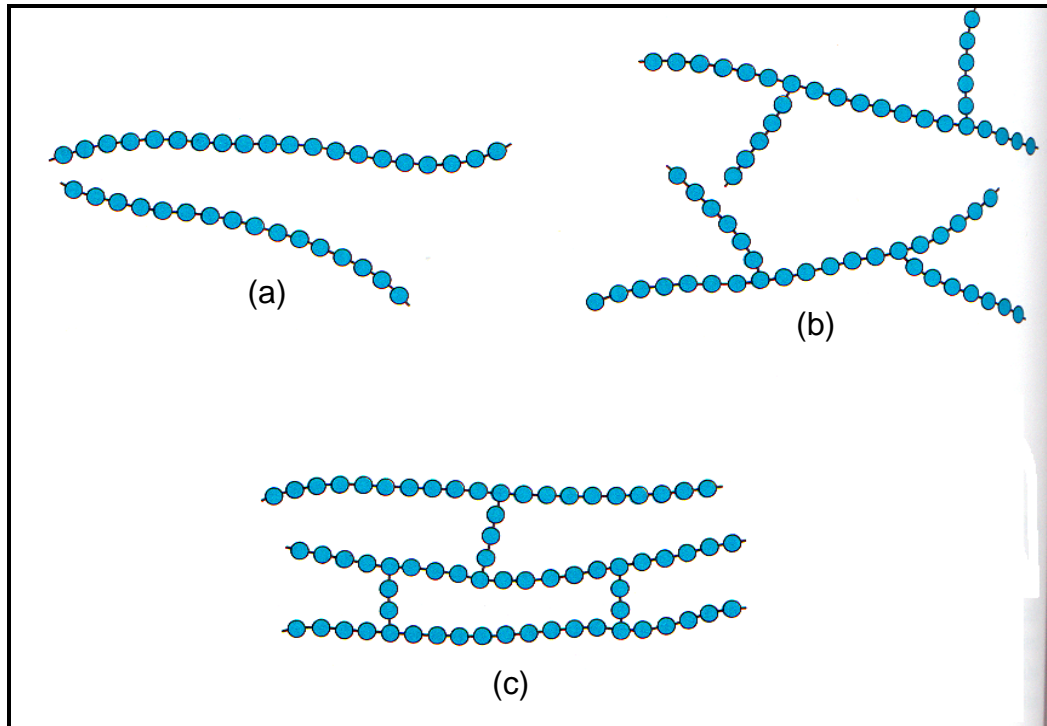
Fonte: Mano (2004).

Conforme a Figura 3, os polímeros podem:

- Ter suas cadeias sem ramificações, admitindo conformação em zigue-zague e são denominados polímeros;
- Apresentar ramificações e são denominados polímeros ramificados, com maior ou menor complexidade;
- Exibir cadeias mais complexas, com ligações cruzadas formando polímeros reticulados.

Como consequência imediata, surgem propriedades diferentes no polímero, decorrentes de cada tipo de cadeia, especialmente em relação à fusibilidade podendo ser fundidos por aquecimento e o aumento da temperatura faz com que melhore a solubilidade de um polímero.

**Figura 3 – Representação de cadeias macromoleculares (a) Cadeia sem ramificações (b) Cadeias com ramificações e (c) Cadeia reticulada.**



**FONTE: Mano (2004).**

### 1.1 Justificativa

Uma das commodities mais usadas no planeta, o mercado de polímero, registrou um forte crescimento mundial nos últimos anos, impulsionando suas principais variedades e promete continuar a escalada, segundo indicativos da consultoria americana Lucintel, que divulgou a pesquisa intitulada “Global Polyethylene Industry 2012-2017: Trend, Profit, and Forecast Analysis”. De acordo com esse estudo, a indústria global de polímeros mostra propensão para evoluir a taxas de 3,5% nos próximos cinco anos, chegando a cerca de US\$ 148,1 bilhões em 2017. Inovações em produtos e processos devem conduzir as estratégias dos competidores nessa expansão (RETO, 2012).

Considerando as atuais necessidades advindas do mercado consumidor dos produtos poliméricos, este trabalho visa caracterizar combinações de blendas de poliestireno (PS).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo Geral

Caracterizar blendas poliméricas de PS, quanto a característica mecânica e de inflamabilidade.

### 2.2 Objetivos Específicos

1° Obter blendas de PS, utilizando três tipos diferentes. Três amostras misturando duas a duas, e uma amostra combinando as três, totalizando quatro amostras diferentes;

2° Obter parâmetros do processo de injeção conforme a preparação das blendas;

3° Injetar corpos de prova normalizados para ensaio de tração e flexão;

4° Realizar os ensaios de tração e flexão dos corpos de prova;

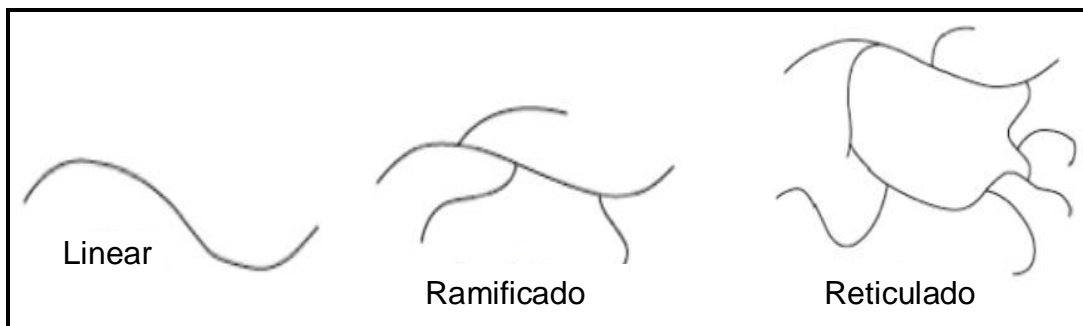
5° Realizar ensaio de inflamabilidade, utilizando os corpos de prova para flexão.



### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Polímeros são macromoléculas formadas a partir de unidades estruturais menores (os monômeros). Os monômeros são moléculas de baixa massa molecular os quais, a partir das reações de polimerização, vêm a gerar a macromolécula polimérica. Existem duas classes principais de polímeros, os naturais da qual fazem parte as proteínas e os polissacarídeos e os sintéticos, compostos por plásticos e adesivos. As unidades repetitivas, chamadas de mero, provem da estrutura do monômero. O número de unidades estruturais repetidas, ou seja, número de meros que podem se verificar na estrutura de uma macromolécula, é chamado grau de polimerização. Os polímeros podem ser lineares, ramificados ou reticulados, conforme Figura 4 (KRISTER, 2002).

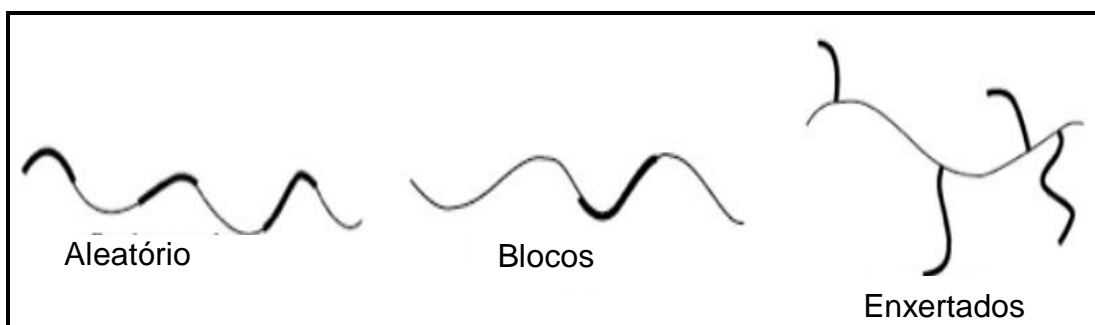
**Figura 4- Estrutura dos diferentes tipos de polímeros, linear, ramificado e reticulado.**



Fonte: Krister (2002).

Se o polímero for sintetizado com mais de um tipo de monômero é chamado de copolímero que podem estar aleatoriamente distribuídas, distribuídas em blocos ou enxertadas na cadeia principal de outro polímero, conforme Figura 5.

**Figura 5 – Distribuição dos monômeros, aleatórios, em blocos e enxertados.**



Fonte: Krister (2002).

Segundo KRISTER (2002), a categoria a que pertence um copolímero também tem influência nas propriedades da solução, uma vez que as propriedades químicas da superfície variam muito entre cada uma.

O primeiro polímero a ser sintetizado em laboratório foi o polietileno, no ano de 1934, em uma indústria na Inglaterra, mas esse polímero só ficou conhecido anos depois durante a Segunda Guerra Mundial. Nessa época desempenhou um importante papel: como isolante elétrico de radares militares (RAMOS, 2007).

O polietileno foi ganhando novas formas quando a síntese do polietileno foi aperfeiçoada no ano de 1950 por Karl Ziegler e Giulio Natta, estes pesquisadores descobriram catalizadores para polimerização que foram de grande importância para a indústria plástica moderna. Tais reações foram descobertas por Ziegler na Alemanha e desenvolvidas por Natta na Itália, sendo estes pesquisadores vencedores do prêmio Nobel em Química em 1963 (RAMOS, 2007).

No mundo todo, a produção de polímero foi estimada em 280 milhões de toneladas por ano no ano de 2011 para todos os polímeros incluindo termoplásticos, plásticos termofixos, adesivos e revestimentos. A China é o maior fabricante, 23% da produção mundial, seguida pela Europa com 21% e países do NAFTA com 20%. Países da América Latina compreendem 5% da produção total (REIS, 2013).

A produção mundial de poliestireno é de cerca de 3 milhões de toneladas por ano. As indústrias de embalagens e bens de consumo são responsáveis por 54% da produção total, seguido pelo negócio de construção com 46% (SCHMIDT, 2011).

### 3.1 - Moldagem por Injeção

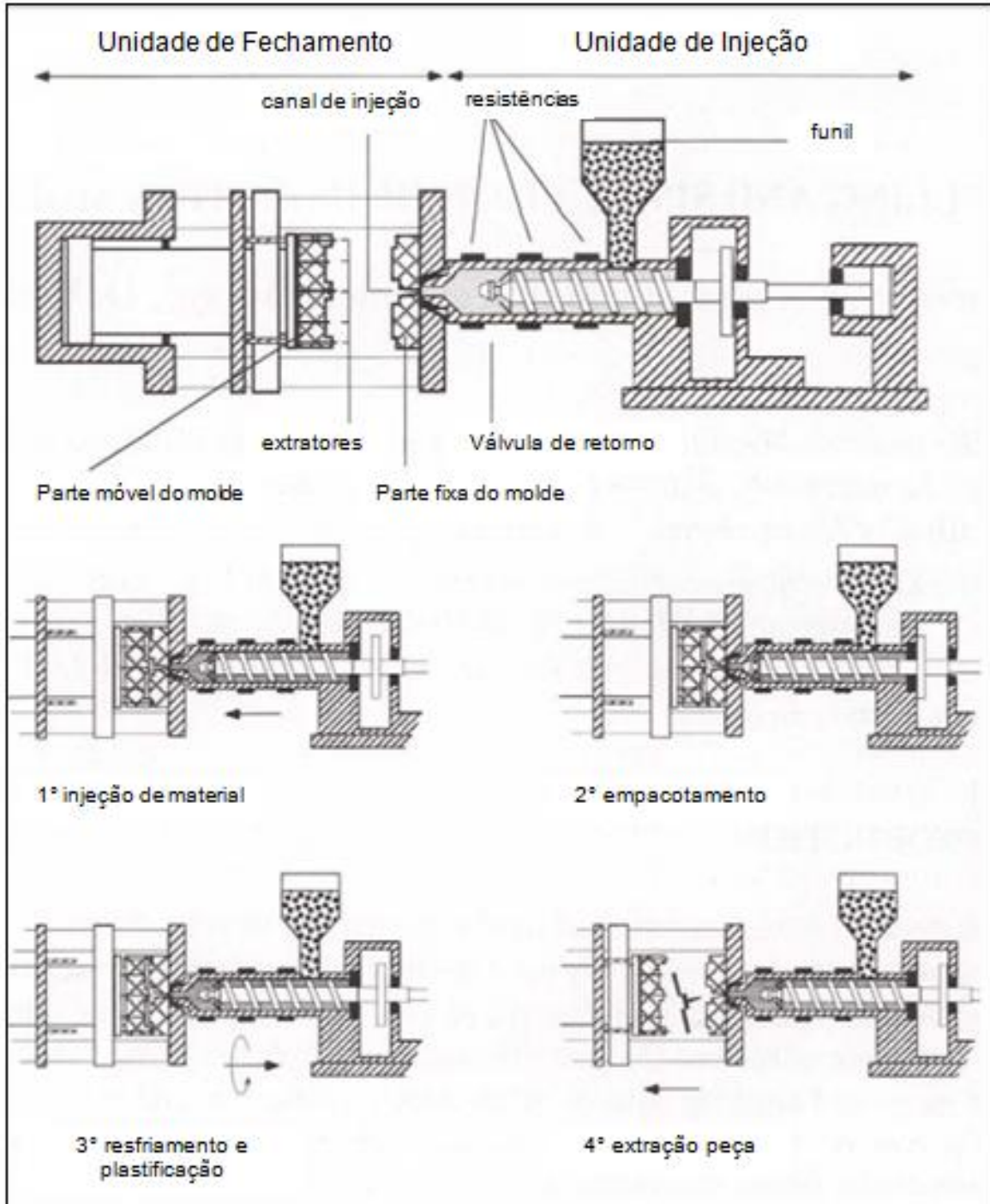
Este processo envolve o enchimento rápido sob forma de pressão de uma cavidade de um molde com um polímero, seguido da solidificação do material para formar um produto, este processo é utilizado em termoplásticos, elastômeros e termofixos (BRETAS, 2000).

A moldagem por injeção é utilizada para a produção em massa de peças idênticas ao molde, obtidas introduzindo um polímero fundido em uma cavidade do molde. Uma grande vantagem deste processo é a sua adequação a produção em injetar peças de considerável complexidade geométrica, tanto em formas pequenas tanto como engrenagens de relógios quanto a peças maiores como barcos ou peças

automotivas. A moldagem por injeção é considerada uma das técnicas mais complexas no tratamento com materiais poliméricos (DUPRET, 1999).

Na Figura 6 exibe um esquema básico de uma máquina injetora, e seus componentes.

Figura 6 – Esquema de uma máquina injetora.



Fonte: Dupret (1999).

Mesmo com os controles de homogeneização e temperatura do material apurados, um ponto importante a ser levado em consideração é a instabilidade da máquina que pode variar os parâmetros de regulação, devido à fluidez do material, temperatura ambiente, sendo assim, para melhorar o processo de injeção pesquisadores estudou e trabalhou no controle inteligente ao utilizarem a técnica computadorizada de controle do ambiente, um controle de qualidade cuidadoso das matérias-primas, melhoria na técnica de fusão de material para monitoramento mais preciso e um controle de processos em tempo real. Esses desafios pareciam alcançar algum grau de melhoria, mas não podiam fornecer uma solução inovadora que efetivamente eliminasse os problemas (YAMAZAKI,1994).

Segundo Bretas (2000), este processo envolve quatro estágios principais: plastificação onde a unidade de alimentação opera como uma extrusora, fundindo e homogeneizando o polímero e pelo parafuso transportando o material para frente; preenchimento onde o parafuso funciona com um pistão, deslocando-se para frente sem girar. Para diminuir o encolhimento e enrugamento das peças, uma pressão denominada pressão de empacotamento é mantida durante o resfriamento.

A densidade do polímero dentro do molde está aumentando e o volume diminuindo provocada pelo resfriamento no interior do molde, necessário a injeção de mais material para que mantenha o volume constante, este fato normalmente é feito por meio de pinos de injeção conhecidos como galhos/capilar.

### 3.2 - Inflamabilidade

O crescente aumento da utilização de materiais poliméricos nos mais variados setores e ambientes de uso coletivo tem evidenciado que no dia-dia, ocorra a necessidade de se estabelecer controles e normas quanto à utilização de polímeros.

Neste contexto, desenvolver em conjunto com o aperfeiçoamento dos polímeros quanto à prevenção de incêndio.

Para melhor classificar as amostras em estudo com relação à sua resistência à chama, foi realizado nos corpos de prova o ensaio de Inflamabilidade na posição horizontal, de acordo com a norma ASTM D635-14, que permite o cálculo da taxa de queima dos corpos de prova em polímero e sua classificação por métodos comparativos.

Segundo Gallo (1988), o processo de queima é dividido em cinco etapas:

1° Aquecimento – Onde o calor de uma fonte externa é transferido progressivamente ao material polimérico, aumentando sua temperatura;

2° Pirólise – Quando uma temperatura é atingida, inicia-se a liberação de gases, líquidos e partículas sólidas;

3° Ignição: Quando há a difusão da superfície do material polimérico, os produtos da pirólise encontrada no oxigênio se difundem, formando uma zona de queima gasosa atingindo níveis que permitem a ignição;

4° Combustão e Propagação - Radicais livres liberados na pirólise fundamentais para a ignição desencadeiam reações de combustão onde o calor liberado sustenta o processo de pirólise e ignição enquanto houver combustível disponível, podendo propaga-se através da superfície atingindo outras regiões, tornando a queima irreversível;

5° Extinção – À medida que o fogo se alastra pelo material polimérico as quantidades de material e oxigênio (quando em ambiente fechado) vai diminuindo até o ponto em que o calor gerado pelas reações de combustão não sustenta mais o mecanismo entrando no estágio de extinção.

Pela norma de ensaio de Inflamabilidade ASTM D635-14 utilizada para ensaiar os corpos de prova, este procedimento vai comparar a taxa linear relativa de queima ou extensão e tempo de queima de plásticos, permitindo que este padrão de ensaio nos materiais poliméricos demonstre evidências quanto à segurança.

### 3.3 - Ensaio de Tração

Os materiais frágeis estão em maior risco de serem expostos a fraturas causadas pelo desenvolvimento de numerosas micro rachaduras. Esses micro vazios e micro defeitos podem promover iniciações de fissuras, degradando assim o desempenho mecânico de materiais frágeis. (LEE, 2016).

Segundo Aranha (2016) os termoplásticos, apresentam um comportamento que quando sofre uma tensão externa o polímero deforma elástica e plasticamente ao mesmo tempo.

Conforme Garcia (2008), a aplicação gradativa de carga de tração uniaxial a um corpo de prova conhecido com “borboleta” ou “gravata”, de geometria reta e plana preso pelas extremidades conforme ilustração apresentada na Figura 7.

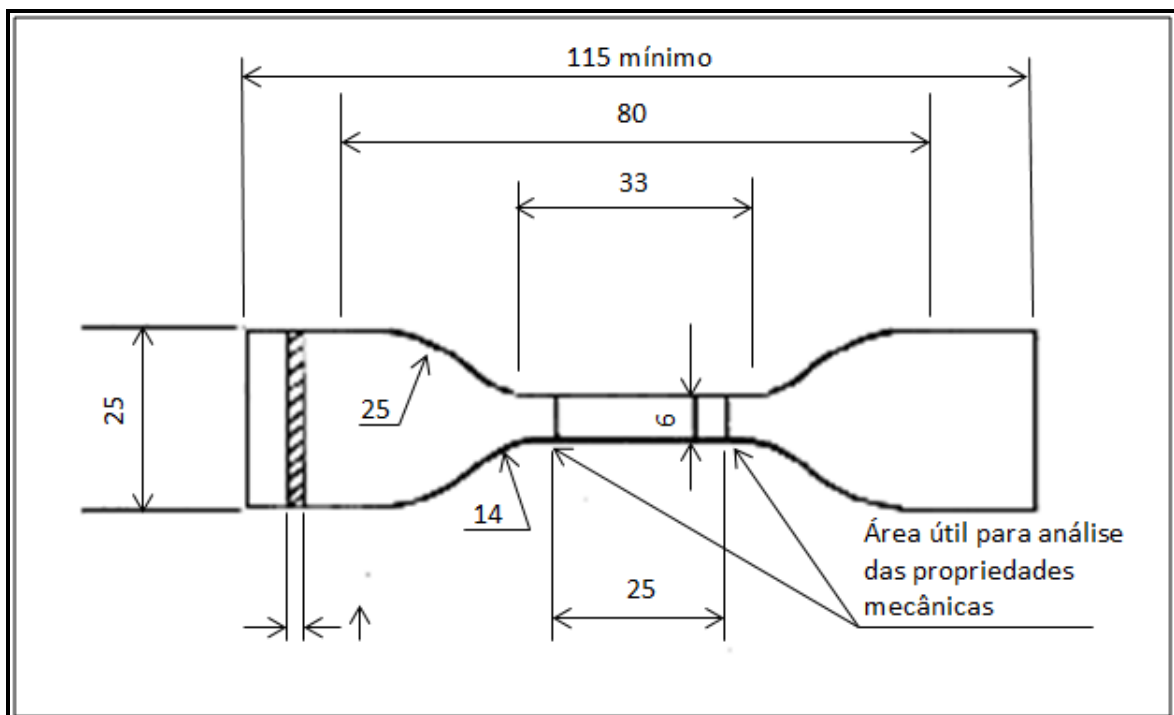
**Figura 7 – Disposição do corpo de prova na pinça de tração.**



Fonte o autor (2017).

Com a utilização da norma ASTM D638 (*American Society for Testing and Materials*), o procedimento para medidas e confecção do corpo de prova irá garantir que os resultados sejam comparáveis, conforme Figura 8.

**Figura 8 – Corpo de prova utilizado no ensaio de tração.**

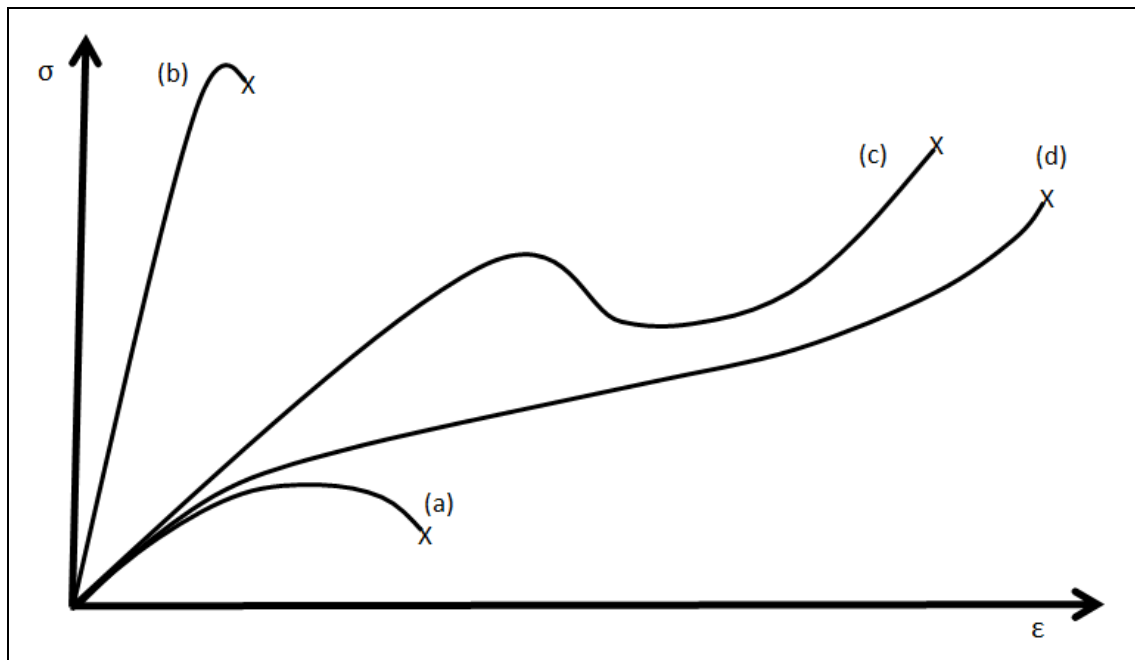


Fonte: Garcia (2008).

Conforme Ferrante (2007), os polímeros apresentam quatro comportamentos possíveis sob cargas de tração:

- a) Baixo módulo, baixa resistência e baixa tenacidade.
- b) Alto módulo, alta resistência e baixa tenacidade.
- c) Alto módulo, alta resistência e alta tenacidade.
- d) Baixo módulo, baixa resistência e baixa tenacidade.

**Figura 9 – Quatro tipos de comportamento em tração dos polímeros.**



Fonte: Ferrante (2007).

O comportamento em tração é determinado por seis fatores básicos:

- (a) Estrutura do monômero, que influi no tipo de ligação secundária.
- (b) Flexibilidade das moléculas.
- (c) Peso molecular.
- (d) A presença ou ausência de ligações cruzadas.
- (e) Cristalinidade e orientação das moléculas.
- (f) Temperatura de uso e sua posição

Para os polímeros, a tensão e a deformação não são relacionadas através de simples constantes de proporcionalidade, como o módulo de elasticidade. As respostas dos polímeros às solicitações mecânicas são acentuadamente dependentes de fatores estruturais e de variáveis externas (WASILKOSKI, 2009).

Para os resultados, foi utilizado o software GOM Correlate, que permite através de uma câmera acoplada ao computador a correlação de imagens criando extensômetros virtuais para o registro dos valores conforme Figura 10.

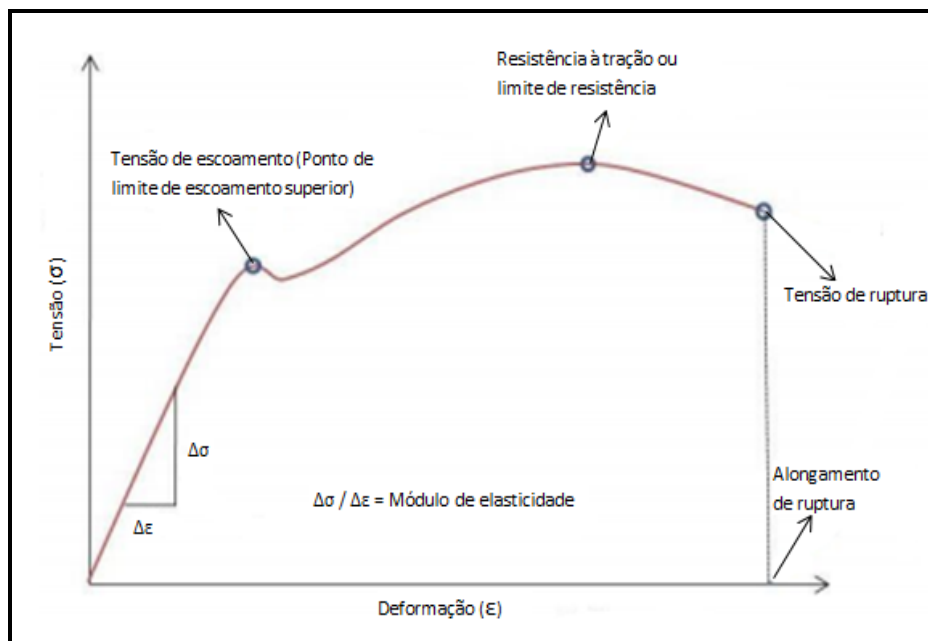
**Figura 10 – Correlação de imagens.**



Fonte: o autor (2017)

Conforme Carvalho (2017), em geral as curvas de tensão-deformação típicas apresentam uma região inicial não linear, através da curva tensão ( $\sigma$ ) de tração e pela deformação ( $\epsilon$ ) sofrida pelo corpo de prova, no resultado do teste de tração com principais pontos característicos como mostra a Figura 11.

**Figura 11 – Tipo de curva obtida no ensaio de tração.**



Fonte: Carvalho (2017)



### 3.4 – Ensaio de Flexão

Ensaio realizado por flexão, em 3 ou 4 pontos, determina propriedades de flexão de materiais poliméricos, rígidos ou semirrígidos com até 5% de deformação, utilizado o ensaio de flexão em 3 pontos com distância entre apoios conforme descrito na norma ASTM D790 para materiais termoplásticos é de 16 vezes a espessura do corpo de prova (51,2mm), conforme a disposição na Figura 12, o teste em 4 pontos é mais adequado para materiais que contém pequenos defeitos, pois caso contrário à amostra não irá fraturar de modo aleatório entre os apoios. As normas que regem este ensaio são: ISO 178 e ASTM D790.

**Figura 12 – Testes de propriedade de flexibilidade.**

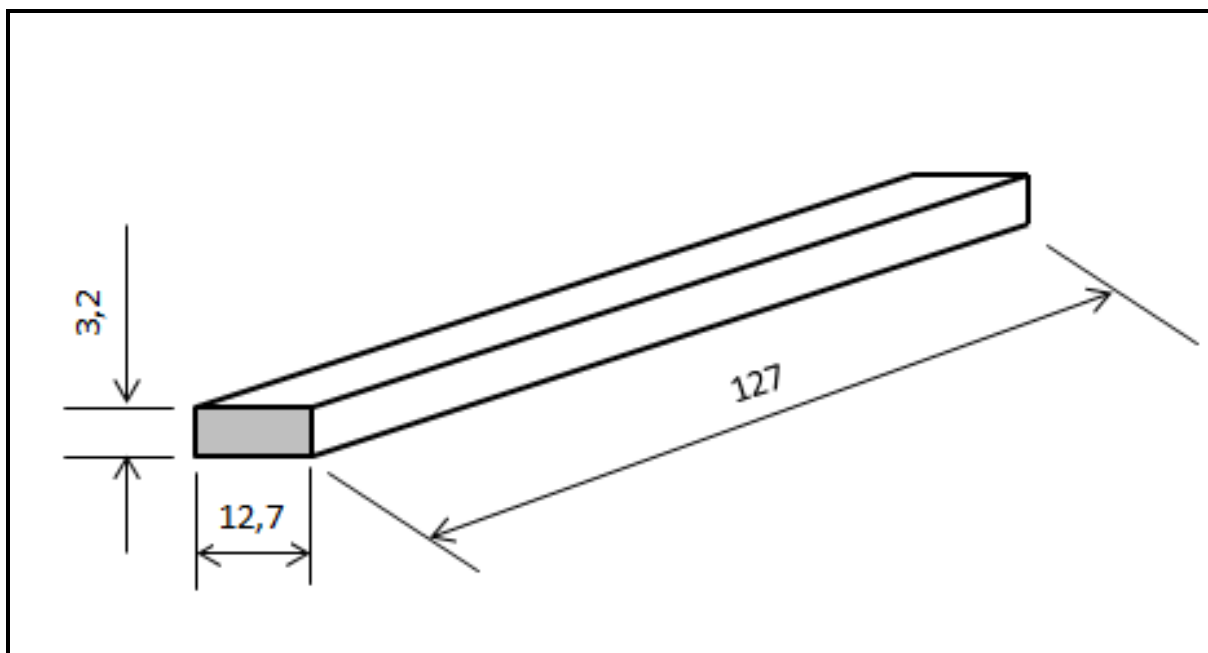


Fonte: o autor (2017).

O teste de flexão mede a força necessária para dobrar ou fraturar um corpo de prova sob condição de carga em três pontos. O módulo de flexão é usado como indicação da rigidez de um material quando flexionado. Uma vez que as propriedades físicas de muitos materiais (especialmente termoplásticos) podem variar dependendo da temperatura ambiente, às vezes é apropriado testar materiais a temperaturas que simulam o ambiente de uso final pretendido.

Na Figura 13 é apresentada as dimensões da amostra mais utilizada pela ASTM D790 que é de 3,2mm x 12,7mm x 127 mm (0.125" x 0.5" x 5.0"), e seu posicionamento no ensaio é conforme a Figura 14, retirada da Norma ISO 178, pois a ASTM não contém a figura que mostra o posicionamento do corpo de prova.

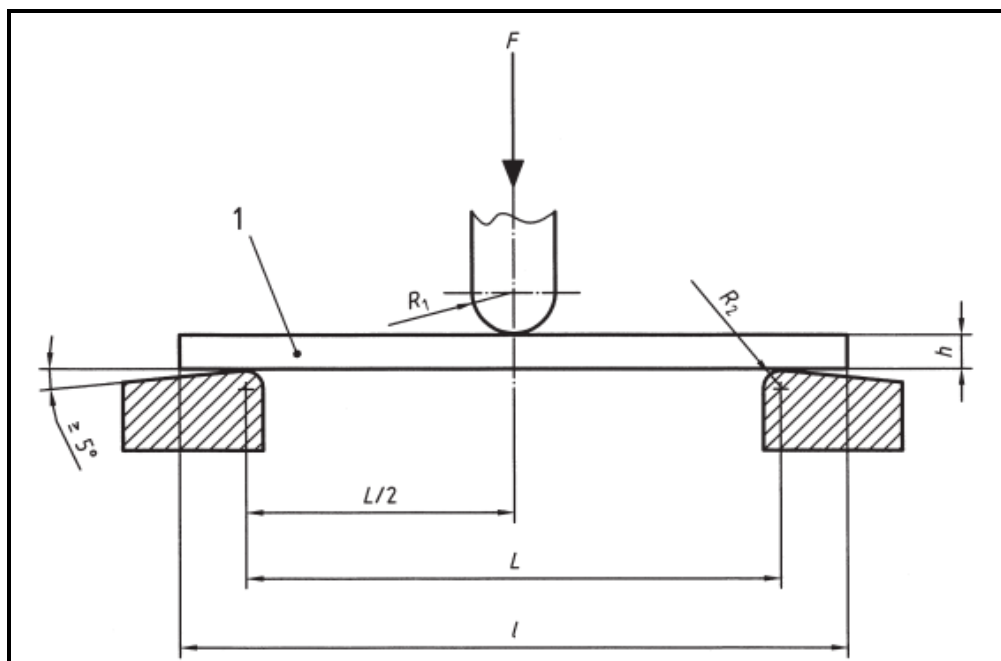
**Figura 13 – Dimensões do corpo de prova**



Fonte: o autor (2018).

O procedimento mais comum aplicado na extensão do corpo de prova é a carga aplicada no centro do corpo de prova pelo nariz de carga, conforme Figura 14, produzindo flexão de três pontos a uma taxa especificada. Os parâmetros para este teste são as distâncias de suporte, a velocidade do carregamento e a deflexão máxima para o teste. Estes parâmetros são baseados na espessura da amostra de teste e são definidos de forma diferente pela norma da ASTM e ISO. Pela norma ASTM D790, que foi utilizada como parâmetro, o ensaio é interrompido quando o corpo de prova atinge 5% de deflexão ou quando ocorre a ruptura antes dos 5% de deflexão. Quando o corpo de prova não se rompe, o teste prossegue o quanto possível ou quando a deflexão atinge 3,5% a mais dos 5%.

Figura 14 – Posição esquemática do corpo de prova.



Fonte: ISO 178 (2003).

Onde:

1 – Corpo de Prova

F – Força Aplicada

R1 – Nariz de carga

R2 – Raios dos apoios

H – Espessura do corpo de prova

l – Comprimento total do corpo de prova

L – Comprimento entre os apoios

### 3.5 Equações para efeito de cálculo

Como no ensaio de tração consiste em submeter o corpo de prova a uma força que tende a alongá-lo e esticá-lo até a ruptura, o ensaio é realizado em corpos de prova com formas e dimensões padronizadas, para que os resultados obtidos possam ser comparados.

Para melhor entendimento do significado dos parâmetros referentes às propriedades dos materiais no ensaio de tração, são utilizados alguns princípios básicos e definições, como a tensão e deformação calculada (de engenharia).

Tensão de Engenharia Calculada

$$\sigma_{\text{eng}} = \frac{F}{A_0}$$

Onde a Tensão é correspondente à força  $F$  é obtido pela aplicação do princípio de equilíbrio, pela área da seção inicial  $A_0$ .

Deformação de Engenharia Calculada  $\epsilon_{eng} = \frac{\Delta l}{l}$

A Deformação de Engenharia representa o valor médio da deformação sobre a extensão do segmento.

Com a utilização do software GOM Correlate, foram criados extensômetros virtuais, onde através da correlação de imagens o software calcula e apresenta as deformações verdadeiras.

Para efeito de apresentação dos cálculos pode-se obter a tensão verdadeira evidenciando as áreas do corpo de prova (espessura e largura) no momento instantâneo através da deformação transversal verdadeira.

Tensão Verdadeira  $\sigma_{verdadeira} = \frac{F}{A_i}$

Onde a área  $A_i = T_i \times W_i$ , áreas definidas no momento instantâneo,  $T_i$  adotada como largura e  $w_i$  adotada como espessura do corpo de prova.

$$T_i = T_0 (1 - \epsilon_2)$$

$$W_i = w_0 (1 - \epsilon_3)$$

Fica determinado que proporcionalmente que as deformações  $\epsilon_2$  é igual a  $\epsilon_3$ , estes dados são fornecidos pelo software GOM Correlate.

Da curva de Tensão x Deformação pode se obter o Módulo de elasticidade ou módulo de Young, onde esta relacionada com a rigidez do material ou a resistência à deformação plástica analisada pelo quociente da tensão aplicada e a deformação elástica resultante – Lei de Hooke.

Módulo de elasticidade  $E = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon}$

Calculado sob o valor médio da variação da tensão pela deformação da inclinação linear da reta na fase elástica.

### 3.6 – Mecanismo de Deformação para o Aumento da Resistência de Polímeros

Polímeros Termofixos – adquirem a forma do molde sob a ação do calor e pressão, e no resfriamento torna sua forma definitiva e não pode ser reprocessado.

Polímeros Termoplásticos – sob a ação do calor, é injetado e toma a forma da cavidade do molde, podendo ser reaproveitado quando necessário.

Para Callister (2008), entender o mecanismo de deformação dos polímeros é importante para poder ter a capacidade de administrar as características mecânicas desses materiais. A rigidez e a resistência são considerações de importância; o mecanismo das deformações elástica e plástica é considerado, enquanto os métodos usados para enrijecer e aumentar a resistência desses materiais.

### 3.7 – Transições Térmicas

#### 3.7.1 Temperatura de Fusão Cristalina ( $T_m$ )

A  $T_m$  é o valor médio da faixa de temperatura em que, durante o aquecimento, desaparecem as regiões cristalinas com a fusão dos cristalitos, ocorre quando do resfriamento em temperaturas entre a  $T_m$  e Transição vítrea ( $T_g$ ).

O processo de cristalização envolve as etapas de crescimento de cristais, mas a grande maioria das pesquisas sobre cristalização de materiais poliméricos concentra-se apenas no processo de crescimento de cristais, ou então na cinética de cristalização total (GUIMARÃES, 2002).

A energia do sistema atinge o nível necessário para vencer as forças intermoleculares secundárias entre as cadeias da fase cristalina, destruindo a estrutura regular de empacotamento, ou seja, ocorre a mudança do estado borrachoso para o estado viscoso ou fundido.

#### 3.7.2 – Transição Vítrea ( $T_g$ )

A transição vítrea de um polímero é o ponto onde ele apresenta o melhor comportamento em resistência ao impacto. Segundo Callister (2008) a transição vítrea que ocorre em polímeros amorfos e semicristalinos é devida a uma redução no movimento de grandes segmentos de cadeias moleculares causadas pela diminuição da temperatura de resfriamento. Apesar de uma mudança profunda nas propriedades físicas de um material quando da sua transição vítrea, esse processo

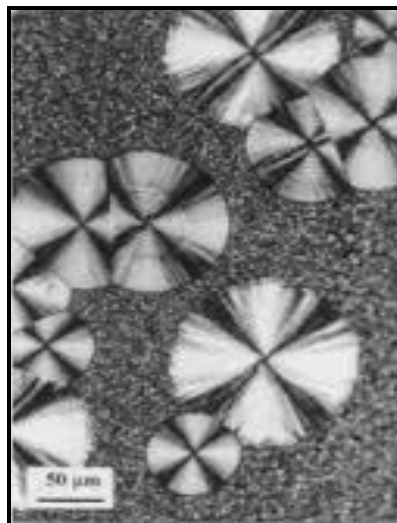
não é uma mudança de fase (como fusão ou solidificação), e sim um fenômeno que se estende ao longo de uma faixa de temperatura definida por convenções que incluem uma constante taxa de resfriamento, ou seja, o conceito de temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) é uma das propriedades térmicas fundamentais e pode ser usada para distinguir duas categorias de polímeros: os plásticos e os elastômeros (borrachas).

Entende-se por  $T_g$  a temperatura abaixo da qual um polímero amorfo torna-se duro e frágil (estado vítreo) o polímero não tem energia interna suficiente para permitir o deslocamento de uma cadeia em relação à outra. Acima da  $T_g$  o mesmo polímero é macio (estado “borrachoso”) devido à mobilidade das moléculas.

### 3.8 – Cristalinidade

A cristalinidade em polímeros pode ser definida como um arranjo ordenado tridimensional das estruturas macromoleculares dos polímeros, dependendo de vários fatores, podem apresentar estruturas com algum grau de cristalinidade, mas na prática 100% de cristalinidade não é atingida; em polímeros, as regiões cristalinas são denominadas cristalitas; conforme Callister (2008), alguns polímeros cristalinos podem apresentar uma microestrutura com esferulitos, que são arranjos esféricos, de cristais interligados com regiões amorfas, e que apresentam a forma de uma cruz de Malta quando observados em microscópios ópticos com luz transmitida e polarizada, conforme Figura 15.

**Figura 15– Formação de Esferulitos.**



**Fonte: Callister (2008)**

Os esferulitos aparecem em função das condições de cristalização, que têm grande influência nas propriedades dos polímeros cristalinos.

Acima da temperatura de transição vítrea, a maioria dos materiais termoplásticos são caracterizados em estado amorfo e cristaliza após a solidificação e os esferulitos se comportam como um gel (LAKKANNAN, 2015).

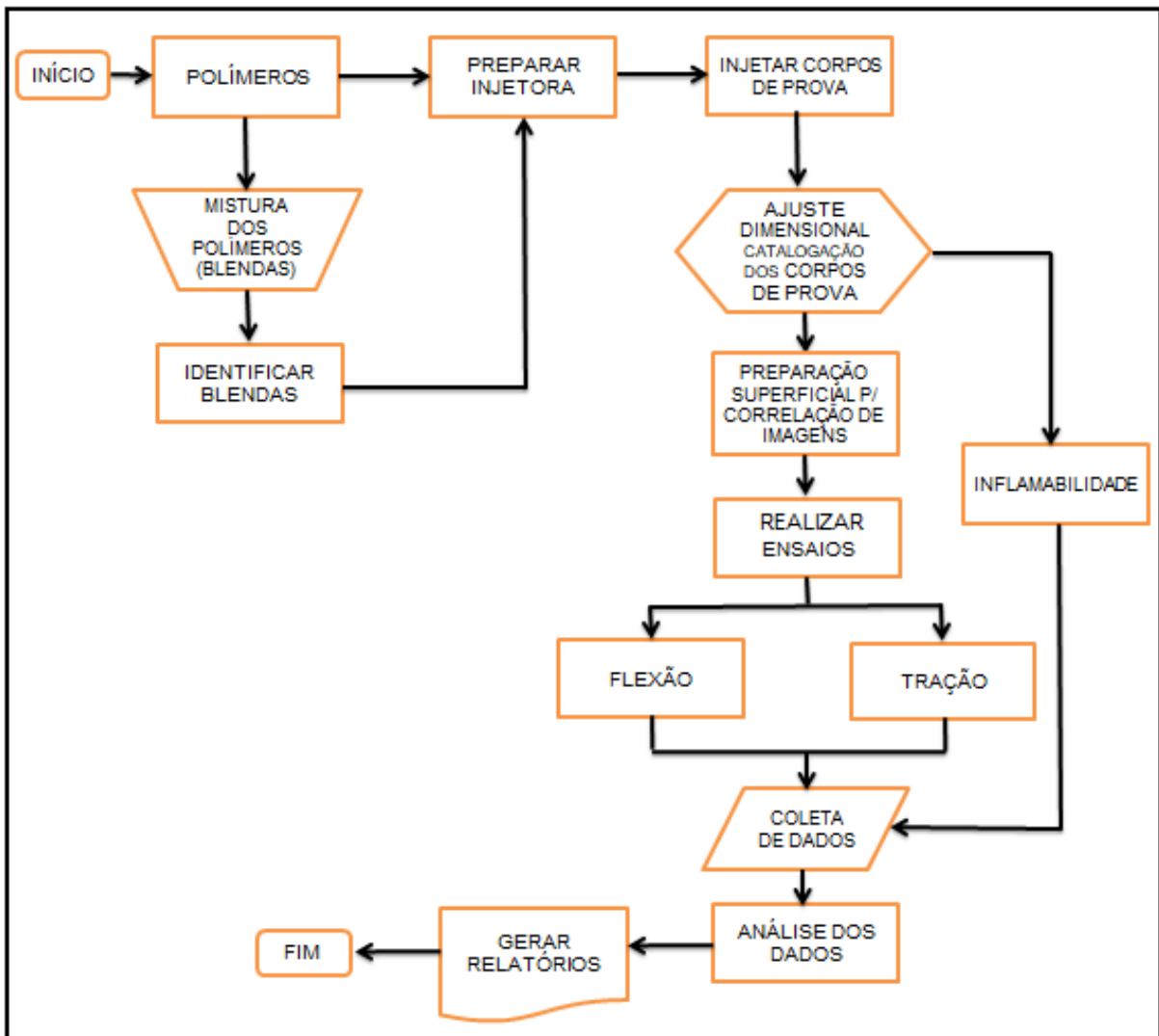
Quando injetados os polímeros cristalinos, podem utilizar moldes quentes para permitir um maior crescimento dos esferulitos ou, ainda fazer um recozimento da peça a fim de aliviar tensões residuais (BRETAS, 2000).

Para um polímero específico, o grau de cristalinidade pode ter uma influência bastante significativa sobre as propriedades mecânicas, uma vez que ele afeta a extensão das ligações secundárias intermoleculares. Nas regiões cristalinas, onde as cadeias moleculares estão densamente compactadas em um arranjo ordenado e paralelo, existe normalmente uma grande quantidade de ligações secundárias entre os segmentos adjacentes das cadeias, em virtude do desalinhamento das cadeias, como consequência, a resistência à tração dos polímeros semicristalinos aumenta significativamente (CALLISTER, 2008).

#### **4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

A descrição de processo é empregada quando se deseja descrever os passos de um procedimento metodológico de uma pesquisa científica, conforme elaborado na Figura 16 neste fluxograma exibe as etapas para geração das amostras desde a preparação dos polímeros, ajuste dos parâmetros de máquina, ensaios a serem aplicados, resultados obtidos, de um modo geral o detalhamento de cada sequência é uma particularidade que pode ocorrer das diferentes etapas do processo.

Figura 16 – Procedimento Metodológico.



Fonte: o autor (2017).

De uma forma geral o planejamento traçado para o ensaio envolveu a fase de obtenção dos materiais poliméricos, a preparação / identificação destas blendas poliméricas que previamente misturadas manualmente e homogeneizadas de modo proporcional, controlada quanto proporção utilizada para a obtenção do resultado do desempenho, antes da entrada de máquina para confecção dos corpos de prova.

Com a blenda identificada é injetado o corpo de prova e no processo de fabricação, o corpo de prova será identificado para análise laboratorial de comportamento do material.

A normatização dos ensaios deve estar de acordo com a especificação do teste para considerar os ensaios como aprovados.



Para o teste de flexão mede-se o valor da carga versus a deformação máxima descrito na norma ASTM D790. As principais propriedades obtidas em um ensaio de flexão: módulos de ruptura na flexão, elasticidade, resiliência e tenacidade.

O procedimento de ensaio de tração posteriormente a confecção dos corpos de prova é submetê-los a uma força de tração uniaxial que tende a esticá-los ou alongá-los.

Durante o ensaio, são medidas as forças de tensão definida genericamente como a resistência interna de uma força externa aplicada sobre um corpo, por unidade de área e a deformação definida como a variação de uma dimensão qualquer desse corpo, por unidade da mesma dimensão, quando submetido a um esforço.

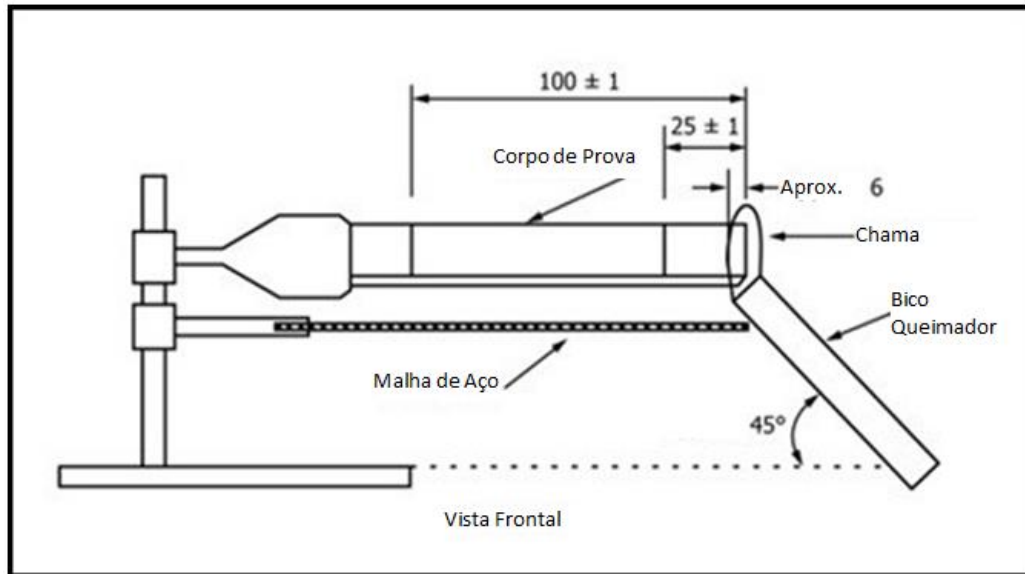
Os ensaios fornecem informações quanto a propriedades mecânicas da blenda (módulo de elasticidade, tensão de escoamento, resistência, rigidez e deformação plástica), que pode ser utilizada em aplicações industriais de polímeros.

O processamento de novos experimentos entre blendas normalmente entre dois semicristalinos pode levar a capacidade de aprimorar as propriedades do material (GREINER, 2017).

As normas que especificam este ensaio de tração são: ASTM D638. Esse tipo de teste é usado quando se deseja saber o comportamento de um material submetido a deformações grandes e permanentes (GARCIA, 2008).

O ensaio de inflamabilidade é utilizado para avaliar a propagação de chama em materiais poliméricos, um esquema da disposição do corpo de prova dentro da capela de ensaio fica evidenciado na Figura 17, a velocidade (taxa) de queima e comportamento desses materiais perante o fogo, para avaliação das características de inflamabilidade de um material fabricado em poliestireno (PS), está indicada pela norma ASTM 635-14.

Figura 17 – Disposição do corpo de prova na capela.



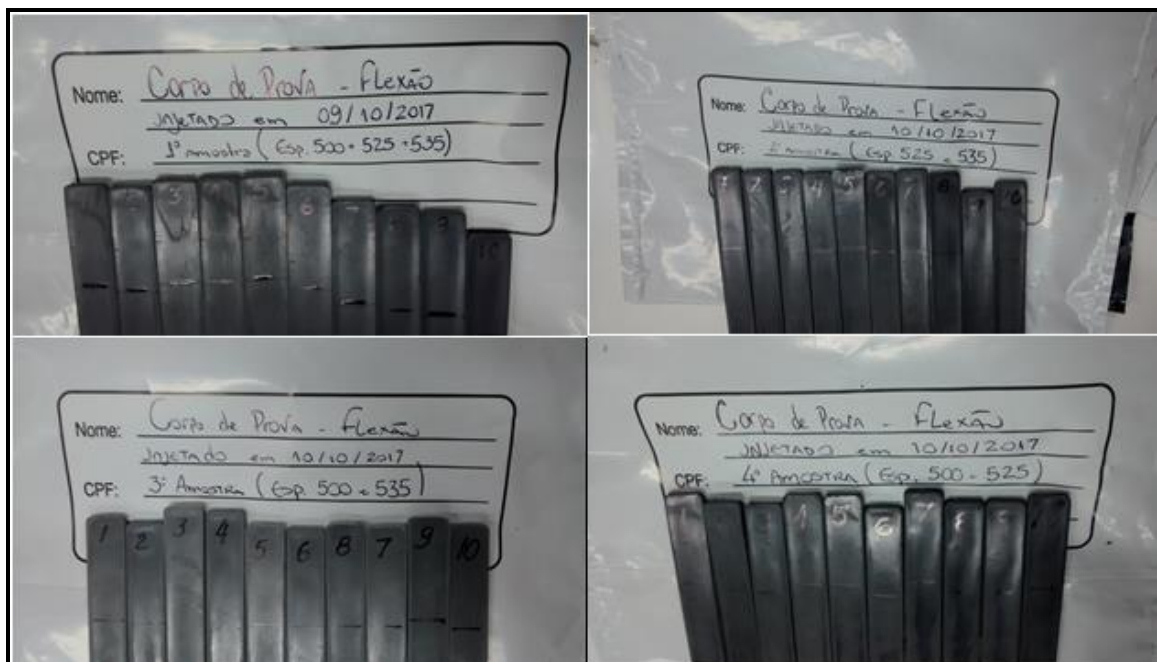
Fonte: ASTM D635 (2014)

#### 4.1 Materiais e Metodologia

##### 4.1.1 Materiais

Neste trabalho, foram utilizados 3 tipos de poliestireno (PS) recuperado da marca Innova, gerando 4 tipos de combinações, conforme Figura 18.

Figura 18 – Configuração das amostras.



Fonte – o autor (2017)

Esses materiais quando puros possuem características descritas na ficha técnica do produto fornecido pelo fabricante conforme Anexos A, B e C.

Os polímeros utilizados foram:

PS 500 – Poliestireno Cristal direcionado para injeção plástica de produtos de utilidades domésticas, embalagens descartáveis para indústria alimentícia e artigos escolares.

PS 525 – Poliestireno Cristal direcionado para injeção plástica de produtos de utilidades domésticas, embalagens descartáveis e artigos escolares.

PS 535 – Poliestireno Cristal direcionado para a injeção plástica de produtos como partes internas de geladeiras, copos descartáveis, capa de CD e box para banheiros.

O poliestireno é um material sólido, formado pela polimerização do benzeno e o etileno do petróleo em muitas moléculas de estireno (SCHMIDT, 2011).

A blenda polimérica que representa a mistura física de dois ou mais polímeros, segundo boletim técnico da Braskem nº08 de 2002, o que difere essas misturas é que, entre as cadeias moleculares dos diferentes polímeros, só existe interação intermolecular secundária. A distribuição das quantidades de PS para a formação das blendas está disposta na Tabela 1.

**Tabela 1 – Distribuição das Blendas**

<b>COMBINAÇÕES</b>		<b>QUANTIDADES</b>
PS 500	<b>AMOSTRA 1</b>	900 g
PS 525		900 g
PS 535		900 g
PS 525	<b>AMOSTRA 2</b>	900 g
PS 535		900 g
PS 500	<b>AMOSTRA 3</b>	900 g
PS 535		900 g
PS 500	<b>AMOSTRA 4</b>	900 g
PS 525		900 g

**Fonte: o autor (2017)**

#### 4.1.2 Metodologia

A confecção dos corpos de prova foi realizada através de moldagem por injeção, utilizando uma injetora marca Haitian modelo HTF 58X com faixa de temperatura de 210 °C a 260 °C, com pressão de injeção de 60 bar. Outras condições utilizadas foram velocidade da rosca de 50 m/min, temperatura do molde a 70 °C e tempo de resfriamento de 20 segundos.

Para os testes de tração e flexão, realizados por correlação de imagens, os corpos de prova foram pintados pulverizando gotículas de tinta em uma face, como demonstrado na Figura 19. Esta pintura é importante, pois a partir dela determina-se o alongamento final e a carga de flexão do corpo de prova, através da correlação de imagens, com isso pode-se afirmar que as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas em todo o seu corpo e permite medir satisfatoriamente a resistência do material. Para o ensaio de tração, foi utilizado o corpo de prova tipo “borboleta” ou “gravata”.

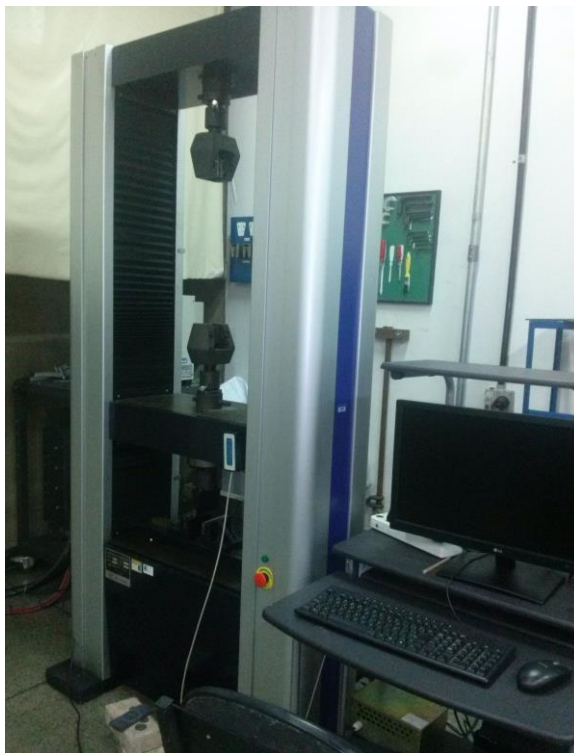
**Figura 19 – Corpo de prova com pintura.**



**Fonte: o autor (2018).**

Para a realização dos ensaios de tração e flexão utilizou-se uma máquina da Time Group INC modelo WDW – 100 de 10 toneladas, Figura 20.

**Figura 20 – Máquina de tração e flexão.**



**Fonte: o autor (2018)**

No teste de inflamabilidade fora utilizada uma câmara fechada de ensaio, como mostra a Figura 21. Essa câmara deve ter um volume mínimo de 0,5m<sup>3</sup> normatizado pela ASTM 635-14. A câmara de ensaio utilizada encontra-se no laboratório de materiais compósitos LMC da UTFPR Câmpus Cornélio Procópio.

**Figura 21 – Capela de ensaio**



**Fonte: Lotto; Da Silva; da Costa (2017).**

## 5. RESULTADOS

Os resultados deste trabalho estão agrupados por itens de acordo com cada procedimento utilizado, pois as caracterizações dos materiais foram realizadas através do uso de técnicas normatizadas. Os resultados obtidos tiveram como referência os dados dos materiais de acordo com o fabricante.

### 5.1 – Resultados de Inflamabilidade

Como base a norma ASTM 635-14, foi realizado o teste de inflamabilidade e pode ser observado através da Tabela 2, o comportamento com os resultados de cada tipo da blenda de poliestireno, de cada amostra foram testada três corpos de prova.

**Tabela 2 – Resultados de Inflamabilidade**

<b>AMOSTRA 1</b>	<b>TEMPO (min)</b>	<b>VELOCIDADE DE COMBUSTÃO (mm/min)</b>	<b>MÉDIA (mm/min)</b>
CDP1	1,46	51,37	49,49 ± 1,64
CDP2	1,54	48,70	
CDP3	1,55	48,39	
<b>AMOSTRA 2</b>	<b>TEMPO (min)</b>	<b>VELOCIDADE DE COMBUSTÃO (mm/min)</b>	<b>MÉDIA (mm/min)</b>
CDP1	1,37	54,74	54,22 ± 0,59
CDP2	1,4	53,57	
CDP3	1,38	54,35	
<b>AMOSTRA 3</b>	<b>TEMPO (min)</b>	<b>VELOCIDADE DE COMBUSTÃO (mm/min)</b>	<b>MÉDIA (mm/min)</b>
CDP1	1,58	47,47	48,19 ± 0,78
CDP2	1,56	48,08	
CDP3	1,53	49,02	
<b>AMOSTRA 4</b>	<b>TEMPO (min)</b>	<b>VELOCIDADE DE COMBUSTÃO (mm/min)</b>	<b>MÉDIA (mm/min)</b>
CDP1	2,01	37,31	36,65 ± 0,63
CDP2	2,05	36,59	
CDP3	2,08	36,06	

Fonte: o autor (2017)

Conforme descrito na norma ASTM 635-14, para a classificação da amostra para classe HB, deva atender as seguintes condições apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3 – Condições classe HB**

Condições	HB
Não há sinais visíveis de combustão após a remoção do queimador	Sim
A chama não passa da marcação de 25 mm	Sim
A chama passa da marcação de 25 mm, mas não atinge a marcação de 100 mm	Sim
A chama atinge a marcação de 100 mm, mas a velocidade de queima não excede 40 mm/min para amostras com uma espessura entre 3 e 13 mm ou 75 mm/min para amostras com espessuras menores que 3 mm	Sim

**Adaptado de: ASTM D635 (2014)**

Através da Tabela 4 os resultados de inflamabilidade obtidos foram comparados com norma ASTM 635-14 como referência e demonstrado conforme a classificação.

**Tabela 4 – Comparativo de Inflamabilidade**

PROPRIEDADES	BLENDAS				Unidade	PRODUTOS		
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4		PS 500	PS 525	PS 535
<b>FÍSICA</b>								
IMFLAMABILIDADE	49.49 ± 1.64	54.22 ± 0.59	48.19 ± 0.78	36.65 ± 0.63	(mm/min)	classe HB	classe HB	classe HB

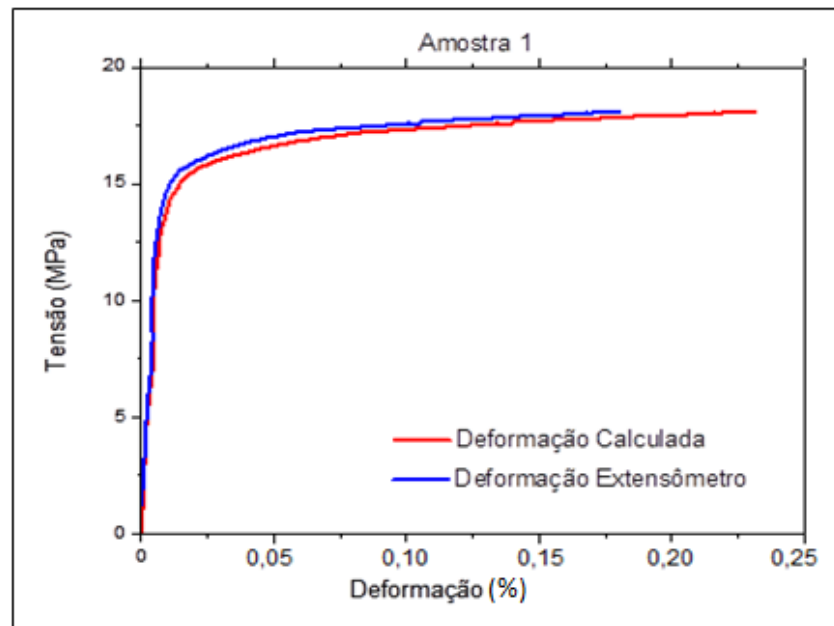
**Fonte: o autor (2017)**

A norma ATSM 635-14 descreve que, caso a taxa de queima linear não exceda 40 mm/min a amostra se classifica na classe HB, sendo assim pode-se observar que as blendas da amostra 1, amostra 2 e amostra 3 estão fora da classe HB e a amostra 4 se enquadra.

## 5.2 – Resultados de Tração

Conforme normatizado pela ASTM 638, a velocidade do ensaio para termoplásticos é de 5 mm/min conforme o corpo de prova, pode-se observar a variação dos resultados nas diferentes tensões desenvolvidas. Na Figura 22 são demonstradas as diferentes tensões e deformações conforme a evolução do ensaio.

**Figura 22 – Tração amostra 1**

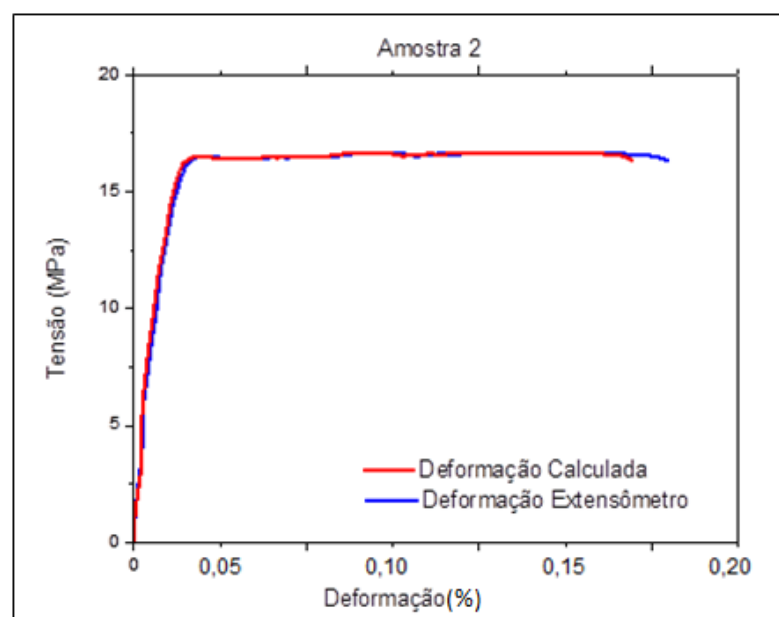


**Fonte: o autor (2017)**

Segundo a Figura 22, a blenda da amostra 1, atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.}}$ ) de 18,07 MPa, deformação calculada em 17,25% e deformação do extensômetro em 23,37%, módulo de elasticidade  $E = 1434$  MPa, foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica).

Na Figura 23 a blenda da amostra 2, atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.}}$ ) suportada pelo material de 16,34 MPa.

**Figura 23 – Tração amostra 2**



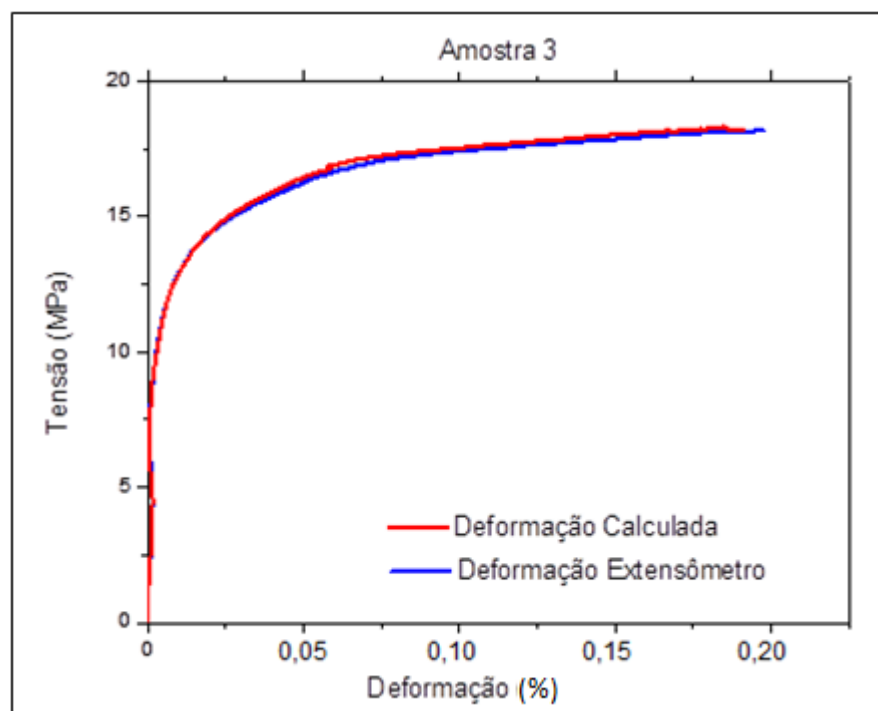
**Fonte: o autor (2017)**



Se comparado com a amostra 1, a tensão máxima ( $\sigma_m$ ) e a deformação máxima atingida pela amostra 2 foi menor. O módulo de elasticidade foi de 867 MPa foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica), sendo menor resultado das amostras analisadas, deformação calculada em 16,96% e deformação extensômetro em 17,99%.

Na Figura 24 a blenda da amostra 3, atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{m\acute{a}x.}$ ) de 18,22 MPa.

**Figura 24 – Tração amostra 3**

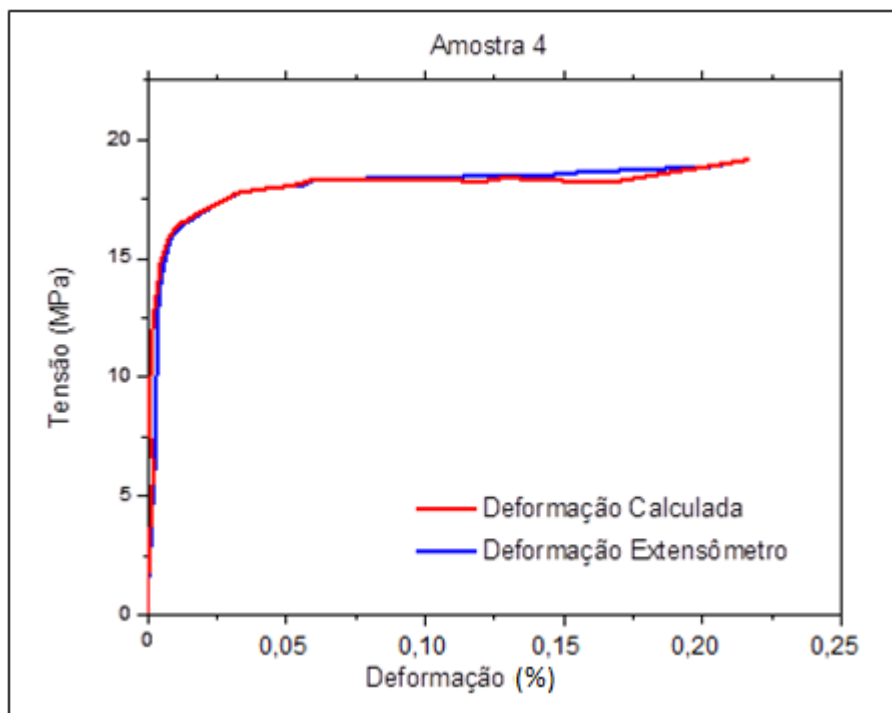


Fonte: o autor (2017)

Ocorreu um aumento da tensão máxima ( $\sigma_m$ ), com módulo de elasticidade de 3150 MPa foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica), sendo o melhor resultado das amostras comparadas, a deformação se manteve, a deformação calculada em 19,73% e deformação extensômetro em 20,93%.

Na Figura 25 a blenda da amostra 4, atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{m\acute{a}x.}$ ) suportada pelo material de 18,22 MPa.

Figura 25 – Tração amostra 4



Fonte: o autor (2017)

Os valores da tensão máxima ( $\sigma_m$ ) suportada pelo material foi equivalente a amostra 3, porém a deformação foi menor que a amostra 1. O módulo de elasticidade calculado do valor médio da inclinação da reta na fase linear (elástica) foi de 2416 MPa maior em relação a amostra 1, a deformação calculada em 22,42% e deformação extensômetro em 22,17%.

Analisando os resultados de tração, houve um comparativo entre as blendas e a especificação do produto, descritos conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados de tração.

PROPRIEDADES MECÂNICAS	BLENDAS				Unidade	PRODUTOS		
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4		PS 500	PS 525	PS 535
TRAÇÃO	18,07	16,34	18,22	18,22	MPa	45	48	50

Fonte: o autor (2017)

### 5.3 – Resultados de Flexão

Conforme normatizado pela ASTM D790, a velocidade do ensaio de flexão para termoplásticos conforme o corpo de prova e é calculada pela equação:

$$R = \frac{ZL^2}{6d}$$

Sendo:

R – Velocidade (mm/min)

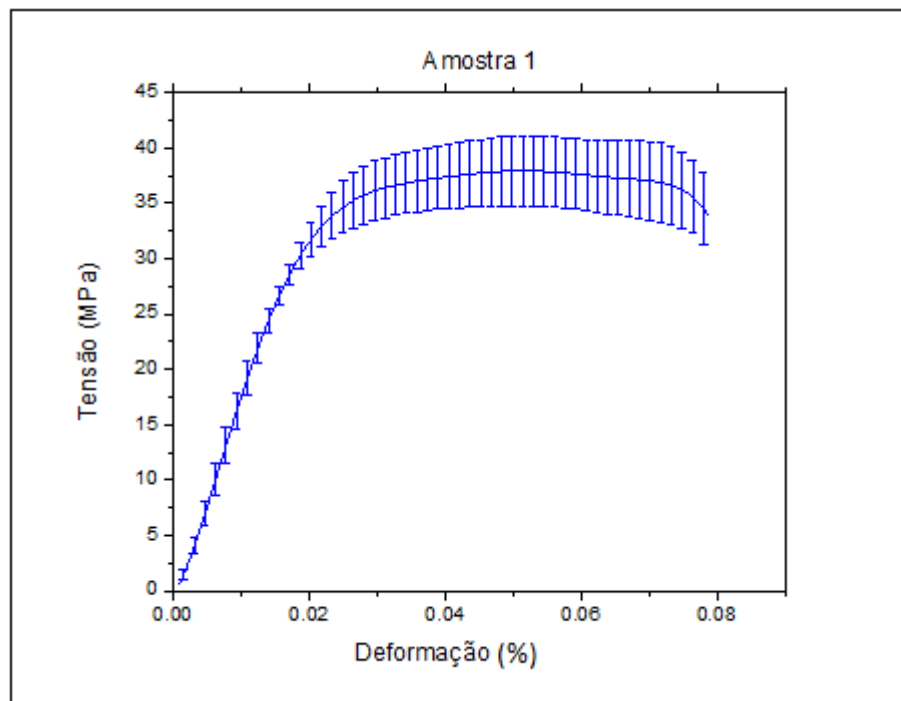
Z – taxa de esforço do material = 0,01

L – distância entre os apoios (mm)

D – espessura do corpo de prova (mm)

Neste caso a velocidade do ensaio para termoplásticos é de 1,36mm/min e pode-se observar a variação dos resultados nas diferentes tensões desenvolvidas. Na Figura 26 são demonstradas as diferentes tensões e deformações conforme a evolução do ensaio.

**Figura 26 – Flexão amostra 1**



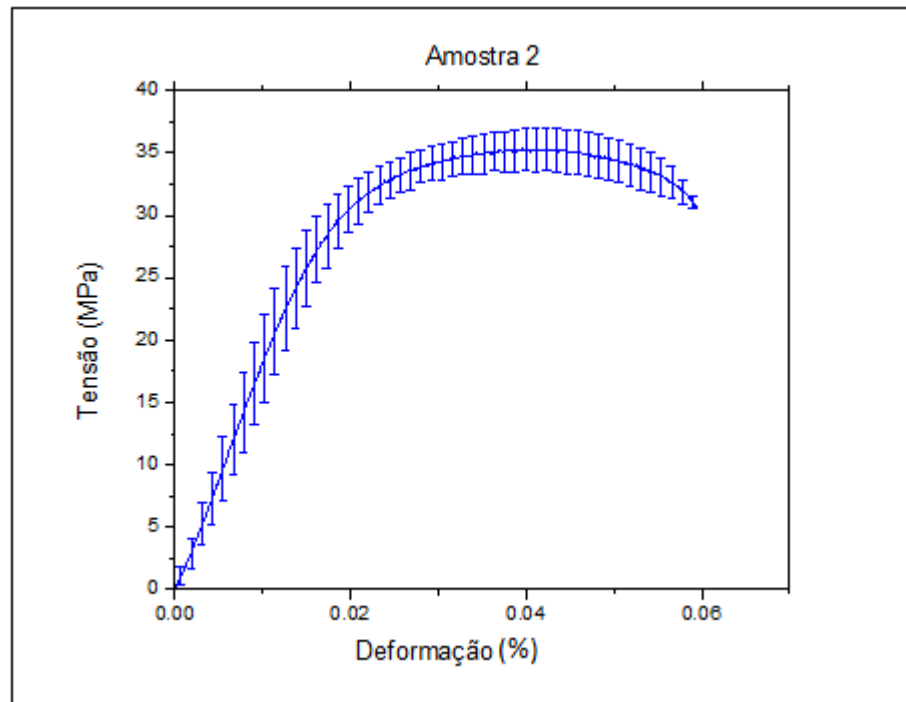
**Fonte: o autor (2017)**

Conforme disposto na Figura 26, a carga aplicado no teste de flexão, permitiu revelar tensão máxima ( $\sigma_m$ ) 37,9 MPa e a deformação em 7,87 % suportada na

carga, com módulo de elasticidade de 965 MPa que foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica).

Na Figura 27 a blenda da amostra 2 do ensaio de flexão, atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.}}$ ) suportada pelo material de 35,2 MPa.

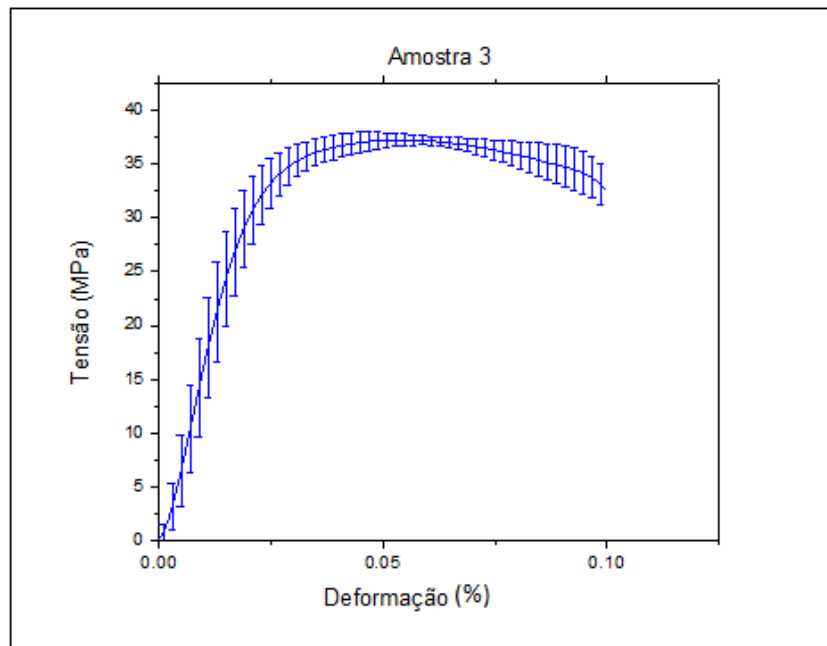
**Figura 27 – Flexão amostra 2**



**Fonte: o autor (2017)**

Se comparado com a amostra 1, a tensão máxima ( $\sigma$ ) e a deformação suportada pelo material da amostra 2 foi menor, provavelmente pela combinação dos materiais, porém com a deformação em 5,95% suportada na carga, o módulo de elasticidade encontrado foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica) de 1509 MPa mais superior que a amostra 1.

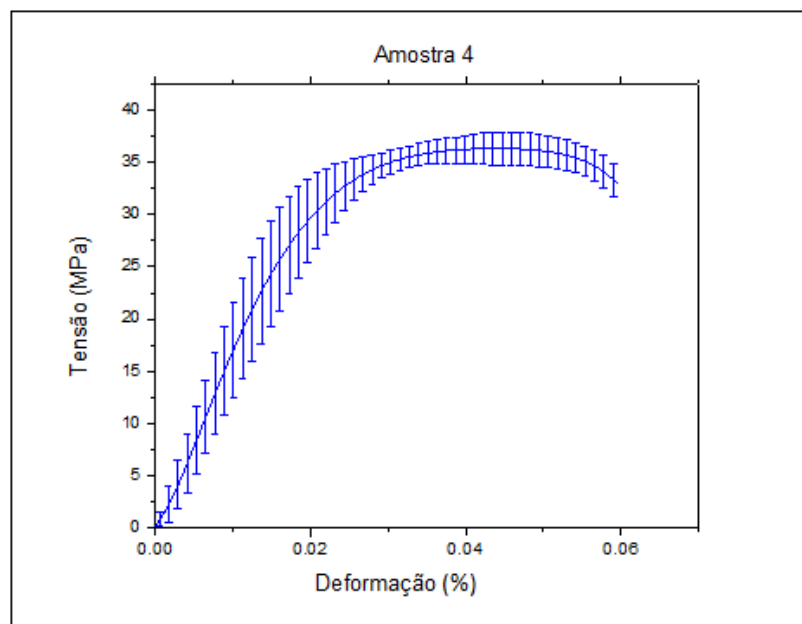
Na Figura 28 a blenda da amostra 3 do ensaio de flexão, atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{\text{máx.}}$ ) suportada pelo material de 37,2 MPa.

**Figura 28 – Flexão amostra 3**

Fonte: o autor (2017)

Ocorreu uma diminuição da tensão máxima ( $\sigma_m$ ) suportada pelo material, em relação à amostra 1, com módulo de elasticidade de 810 MPa que foi calculado do valor médio da inclinação da reta nas fase linear (elástica), sendo o pior resultado das amostras comparadas, mas pelo contrário foi a amostra que suportou a maior deformação de carga em 9,96%.

Na Figura 29 a blenda da amostra 4, no ensaio de flexão atingiu a tensão máxima ( $\sigma_{m\acute{a}x.}$ ) suportada pelo material de 36,4 MPa.

**Figura 29 – Flexão amostra 4**

Fonte: o autor (2017)

Os valores da tensão máxima ( $\sigma_m$ ) suportada pelo material foi menor que a amostra 2 e maior que a amostra 1, o módulo de elasticidade de 1582 MPa apresentou o melhor resultado entre as amostras comparadas, porém com a deformação em 5,96% suportada na carga.

Analisando os resultados de flexão, houve um comparativo entre as blendas e a especificação do produto, descritos conforme Tabela 6.

**Tabela 6 – Resultados de flexão.**

PROPRIEDADES MECÂNICAS	BLENDAS				Unidade	PRODUTOS		
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4		PS 500	PS 525	PS 535
FLEXÃO	37,9	35,2	37,2	36,4	MPa	85	95	100

Fonte: o autor (2017)

No caso de materiais isotrópicos, em que as propriedades não dependem da direção em que são medidas, o módulo de elasticidade é proporcional à rigidez de um material quando este é submetido a uma tensão externa, sendo assim, foram obtidos os seguintes resultados, descritos na Tabela 7.

**Tabela 7 – Resultados do Módulo de Elasticidade.**

PROPRIEDADES	BLENDAS				Unidade	PRODUTOS		
	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	AMOSTRA 4		PS 500	PS 525	PS 535
<b>MÓDULO DE ELASTICIDADE</b>								
TRAÇÃO	1434	867	3150	2416	MPa	3200	3250	3250
FLEXÃO	965	1509	810	1582	MPa	*	*	*

Fonte: o autor (2017)

Na especificação do produto há indicação do módulo de elasticidade por tração podendo ser comparado com os resultados, e não há especificação quanto ao módulo de elasticidade na flexão, por comparação entre as amostras pode-se observar que a amostra 4 apresentou um melhor comportamento.

## 6. CONCLUSÃO

Os ensaios realizados em corpos de prova permitiram de forma clara, identificar e conhecer as propriedades mecânicas e físicas dos materiais, com o tempo para combustão conhecido e o quanto tempo levou para a extinção da combustão sem intervenção, analisou-se os dados do ensaio de inflamabilidade. Além disso, o ensaio de tração permitiu conhecer o comportamento do material, e também foi possível a aplicação de equações para realizar o cálculo das propriedades mecânicas. A partir da metodologia utilizada no ensaio de tração, conseguiu-se obter um melhor entendimento no que diz respeito a ensaios de tração e análise do comportamento do material por meios de gráficos, verificando a diferença nos resultados encontrados entre os corpos de prova. Verificou-se que com a realização do ensaio de tração, é possível determinar o emprego ou a utilização de um determinado material através da sua capacidade de resistir e conhecendo as condições de trabalho. Através desse desenvolvimento, verificou-se que com o aumento da força aplicada para tracionar o corpo de prova, os valores de deslocamentos, tensão e deformação também aumentam até o surgimento da estrição e posterior ruptura do corpo de prova ensaiado. Com os valores da tensão conhecido no momento da fratura pode-se observar os valores de resistência à flexão de cada amostra.

Nos ensaios de tração e flexão, de todas as amostras, todos os valores apresentados para um PS recuperado como se esperado, foram abaixo se comparados com a especificação do material puro, no entanto no teste de inflamabilidade uma amostra, mesmo com material recuperado uma amostra apresentou valores melhores que a especificação do produto puro.

## **7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTURO**

- Investigar com maior profundidade outras blendas na sua proporcionalidade para aplicações específicas, afim de reaproveitamento de material e outras aplicações;
- Verificar através da caracterização a técnica de comportamento das blendas para possíveis aplicações industriais.
- Analisar, comparar a viabilidade do custo dos produtos na utilização de blendas.



## REFERÊNCIAS

ALGER, MARK S. M., Polymer Science Dictionary. 2<sup>nd</sup> Edition, Elsevier Science Published LTD, 1990.

ARANHA, N.; OLIVEIRA J.M.; BELLIO, L.O.; BONVENTI W. - A lei de Hooke e as molas não lineares, um estudo de caso - Programa de Pós-graduação em Processos Tecnológicos e Ambientais, Universidade de Sorocaba, Sorocaba, SP, Brasil - Faculdade de Engenharia de Sorocaba, Sorocaba, SP, Brasil Recebido em 5 de maio de 2016. Revisado em 1 de junho de 2016. Aceito em 4 de junho de 2016.

BARBOZA NETO, ERNANI S.; Desenvolvimento de blenda polimérica como linear não metálico para cilindros GNV de compósitos estruturais e simulação de desempenho. 2011 - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais. Disponível em <http://hdl.handle.net/10183/36062>, acesso em 16 de novembro 2016.

BRASKEM; Glossário de Termos Aplicados a Polímeros - Boletim Técnico nº 08 [https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm\\_tecnico/Glossario\\_de\\_termos\\_aplicados\\_a\\_polimeros.pdf](https://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Glossario_de_termos_aplicados_a_polimeros.pdf), acesso em 10 de novembro de 2016.

BRETAS, ROSARIO E. S.; D'AVILA, MARCOS A. - Reologia de polímeros fundidos – São Carlos: EdUFSCAR, 2000.

CALLISTER, WILLIAM D.; Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução – 7ª edição - Rio de Janeiro – Data da edição 2008.

CARVALHO, Antonio José Félix de; Materiais poliméricos I: apostila de aulas práticas / Antonio José Félix de Carvalho. São Carlos : EESC/USP, 2017.

DUPRET F., COUNIOT A., MAL O., VANDERSHUREN L., VERHOYEN O. - Modelling And Simulation Of Injection Molding - CESAME, Unitd de Mecanique Applique, Université catholique de Louvain, avenue G. Lemaitre 4-6, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium, 1999.

FERRANTE, MAURIZIO; Seleção de Materiais 2ª edição – 1ª reimpressão São Carlos, 2007.

GALLO, J. B.; AGNELLI, J. A. M. - Aspectos do Comportamento de Polímeros em Condições de Incêndio. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1988.

GARCIA, AMAURI ; SPIM, JAIME A.; SANTOS, CARLOS A. – Ensaios dos Materiais – LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. – Rio de Janeiro – 2008.

GREINER, SANDRA; WUDY, KATRIN; LANZL, LYDIA; DRUMMER, DIETMAR - Selective laser sintering of polymer blends: Bulk properties and process behavior - Institute of Polymer Technology, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Germany - Collaborative Research Center 814 – Additive Manufacturing, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Germany, 2017.

GUIMARÃES, LUCIANA M.; ZANOTTO, EDGAR D. - Cristalização e Taxa Crítica de Resfriamento para Vitrificação do Poli(sebacato de decametileno) - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, CP 676, 13565-905 São Carlos - SP Recebido em 27/5/2002; aceito em 04/09/2002.

LAKKANNAN, MURALIDHAR, KUMAR, MOHAN G.C., KADOLI, RAVIKIRAN - Computational design of mould sprue for injection moulding thermoplastics - Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology Karnataka, Surathkal 575025, Mangaluru, Karnataka, India Received 10 December 2014; received in revised form 15 May 2015; accepted 4 June 2015 Available online 27 June 2015.

LEE, JOOEUN; HONG, J.W; Dynamic crack branching and curving in brittle polymers - Department of Civil and Environmental Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Daejeon 34141, South Korea, 2016.

LOTTO, ORIDES; SILVA, ENIO H.; COSTA, ROMEU C. - Desenvolvimento de uma Câmara para Ensaios de Inflamabilidade Vertical e Horizontal e ensaios na Poliuretana – Universidade Federal Tecnológica do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio – Paraná – Brasil – Sicate - Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica 2017.

KRISTER, HOLMBERG B. J., BENGT, KRONBER; BJORN, LINDMAN - Surfactants and Polymers in Aqueous Solution. Second Edition ed.; John Wiley & Sons, Ltd: (2002).

MANO, ELOISA B.; Introdução a Polímeros – Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 5º Reimpressão 1994.

MANO, ELOISA B. / MENDES, LUÍS C.; Introdução a Polímeros – 2,ed, ver e ampl. - Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo. 2004.

Norma ASTM D 256 e ISO 180: Métodos Padrões para Determinação da Resistência ao Impacto Izod em Plásticos.

Norma ASTM D635-14, Rate of Burning and or Extend and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position.

Norma ASTM D3641 e ISO 294: Injeção de corpos de prova em polímeros; elastômeros e compósitos.

Norma ASTM D790 e ISO 178: Normas que regem o ensaio de Flexão.

Norma ASTM D638: Normas que regem o ensaio de Tração.

OLIVEIRA, RICARDO V. B.; FERREIRA, CREUSA I.; PEIXOTO, LUCIANO J. F.; BIANCHI, OTÁVIO; SILVA, PATRICIA A.; DEMORI, RENAN; SILVA, RODRIGO P.; VERONESE, VINICIUS B. - Mistura polipropileno/poliestireno: um exemplo da relação processamento-estrutura-propriedade no ensino de polímeros. *Polímeros*, 2013, vol.23, n°.1, p.91-96. ISSN 0104-1428.

PATHANIA, AMAN; SHARMAB, JYOTI; ARYA, RAJ K.; AHUJA , SANJEEV - Effect of crosslinked polymer content on drying of binary polymer—solvent coatings. Department of Chemical Engineering, Thapar University, Bhadson Road, Patiala, 147004, Punjab, India b School of Chemistry and Biochemistry, Thapar University, Bhadson Road, Patiala, 147004, Punjab, India - Elsevier B.V 2017.

RAMOS, JOÃO C.; Polímeros quirais: Polipiróis e Politiófenos modificados com R-(-) ou S-(+) – N- (3,5 Dinitrobenzoil) – Fenilglicina. Recife: O Autor - 2007.

REIS J.M.L.; PACHECO, L.J.; PACHECO, MATTOS H.S.C. -Influence of the temperature and strain rate on the tensile behavior of post-consumer recycled high-density polyethylene - Theoretical and Applied Mechanics Laboratory – LMTA, Mechanical Engineering Post-Graduate Program – PGMEC, Universidade Federal Fluminense – UFF, Rua Passo da Pátria 156, Niteroi, RJ, Brazil, 2013.

RETO, MARIA A. S.; Mercado brasileiro de polímeros sofre com a crise na transformação. Editora QD Ltda. 21 de Setembro 2012. Disponível em: <https://www.plastico.com.br/polietilenos-mercado-brasileiro-do-polimero-sofre-com-crise-na-transformacao/> Acesso em 30 de novembro de 2017.

SCHMIDT, P. N. S.; CIOFFI, M. O. H.; VOORWALD, H. J. C.; SILVEIRA, J. L. - Flexural Test On Recycled Polystyrene - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – UNESP, Univ. Estadual Paulista, Department of Materials and Technology, Fatigue and Aeronautic Materials Research Group – São Paulo - Brazil, 2011.

SILVA, AMANDA A. X.; SEZEFREDO, RITIERY M.; LEITE, KAROLINE S.; MODOS, MAYRA A.; LOTTO, ORIDES D.; COSTA, ROMEU C. – Projeto de Câmara de Ensaio de Imflamabilidade Vertical e Horizontal – Universidade Federal Tecnológica do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio – Paraná – Brasil – Congresso de Tecnologia – Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica – FATEC – SP – São Paulo 2016.


STEVENS, MALCOM P., Polymer Chesmitry An Introducion. 3 rd Edition, Oxford University Press, 1999.

WASILKOSKI, C. M.; SOUZA, G. P.; AKCELRUD L. - A contribution to the interpretation of polymer viscoelasticity in DMTA testing. Polymer Bulletin (2009) 63: 773. <https://doi.org/10.1007/s00289-009-0152-x>.


YAMAZAKI,KAZUO; SHODAZ, KAZUO; FUJIKAWA, MISAO - Deterministic Injection Molding for Quality Plastic Parts Manufacturing IMS-Mechatronics Laboratory, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of California, Davis, CA 95616, USA \* Sema Sodick Co., Ltd., 3-12-1, Nakamachidai, Midoriku, Yokohama 226, Japan Sodick Plastic Co., Ltd., Ka-1-1, Miyamachi, Kaga, Ishikawa 922-05, Japan Received on January 11,1994.

ANEXOS


## Anexo A

		<b>FICHA TÉCNICA</b> <i>TECHNICAL DATA SHEET</i>			<b>POLIESTIRENO CRISTAL</b> <i>GENERAL PURPOSE POLYSTYRENE</i>			<b>500</b>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b> <i>CHARACTERISTICS</i>				<b>PROCESSOS</b> <i>PROCESSES</i>				<b>APLICAÇÕES</b> <i>APPLICATIONS</i>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alta fluidez. Indicado para injeção de ciclo rápido. <i>High flow, indicated for fast cycle injection.</i></li> <li>Excelente processabilidade. <i>Excellent processability</i></li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>Injeção ciclo rápido <i>Fast cycle injection moulding</i></li> <li>Coextrusão (capa de brilho) <i>Coextrusion (gloss layer)</i></li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>Descartáveis <i>Disposable items</i></li> <li>Embalagens <i>Packaging</i></li> <li>Utilidades domésticas <i>Home appliances</i></li> <li>Artigos escolares <i>School articles</i></li> </ul>			
<b>PROPRIEDADES</b> <i>PROPERTIES</i>				<b>ISO</b>			<b>ASTM</b>				
<b>REOLÓGICA   RHEOLOGICAL</b>				<b>Norma</b> <i>Method</i>	<b>Unidade</b> <i>Unit</i>	<b>Valor</b> <i>Value</i>	<b>Norma</b> <i>Method</i>	<b>Unidade</b> <i>Unit</i>	<b>Valor</b> <i>Value</i>		
Índice de fluidez (200°C, 5 kg) <i>Melt flow rate (200°C, 5 Kg)</i>				1133	g/10 min	16	D-1238	g/10 min	16		
<b>MECÂNICAS   MECHANICAL</b>											
Resistência à tração na ruptura <i>Tensile stress at break</i>				527	MPa	44	D-638	MPa	45		
Módulo elástico por tração <i>Tensile modulus</i>				527	MPa	3200	D-638	MPa	3200		
Resistência à flexão <i>Flexural strength</i>				178	MPa	80	D-790	MPa	85		
<b>TÉRMICAS   THERMAL</b>											
Temperatura de deflexão sob carga (1,8 MPa, 120°C/h) <i>Deflection temperature under load (1.8 MPa, 120°C/h)</i>				75	°C	93	D-648	°C	93		
Temperatura de amolecimento vicat (1 kg, 50°C/h) <i>Vicat softening point (10 N, 50°C/h)</i>				306	°C	98	D-1525	°C	98		
<b>FÍSICAS   GENERAL</b>											
Densidade <i>Density</i>				1183	g/cm³	1.05	D-792	g/cm³	1.05		
Contração no molde <i>Molding shrinkage</i>				294	%	0.3 - 0.6	D-955	%	0.3 - 0.6		
Resistência à chama - espessura 1,9 mm <i>Flame behavior - thickness 1.9 mm</i>				UL-94	Classe <i>Class</i>	HB	UL-94	Classe <i>Class</i>	HB		
Todos os ensaios mecânicos foram realizados a 23°C. <i>All indicated data were measured at 23°C.</i>											
<b>PROCESSAMENTO</b> <i>PROCESSING</i>		Extrusão - temperatura de massa: 210 - 240°C. <i>Extrusion - melt temperature: 210 - 240°C.</i> Injeção - temperatura de massa: 210 - 260°C   temperatura de molde: 50 - 75°C. <i>Injection molding - melt temperature: 210 - 260°C   mold temperature: 50 - 75°C.</i>									
<b>LEGISLAÇÃO</b> Se utilizado sob a forma natural e nas condições de processamento recomendadas, o produto cumpre com as exigências das resoluções 105/99 da ANVISA (Brasil) e GMC (Mercosul) e das regulamentações 21 CFR 177.1640 da FDA (EUA) e EU 10/2011 (União Europeia) para uso em contato com alimentos. O produto 500 atende os requisitos da norma UL 94, sob o File Number E235814. <i>LEGISLATION If used in its natural form and under the recommended processing conditions, this product complies with the requirements of ANVISA 105/99 (Brazil) and GMC (Mercosul) and 21 CFR 177.1640 of the FDA (USA) and EU 10/2011 (European Union) regulations for use in contact with food. 500 fulfills the requirements of UL 94 under File Number E235814.</i>											
Certificações ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 e OHSAS 18001:2007 por ABS Quality Evaluations. <i>Certifications ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and OHSAS 18001:2007 certified by ABS Quality Evaluations.</i>											
<b>SEGURANÇA</b> Durante o processamento do 500, nas condições recomendadas, quantidades de vapor de estireno muito reduzidas podem ser liberadas. Em local com adequada ventilação e renovação de ar, a concentração de estireno permanecerá em um nível muito inferior ao limite de exposição apontado pela ACGIH, não representando riscos conhecidos à saúde. Recomenda-se ler a ficha de segurança do produto (FISPQ) antes de seu uso. <i>SAFETY This product does not pose a health hazard. When processing 500 under recommended conditions, a small amount of styrene vapors may be released. With appropriate ventilation and air renewal, the styrene concentration will stay at a level much lower than the exposure limit indicated by the ACGIH and will not pose a health hazard. Customers are requested to review the current MSDS before handling or using the product.</i>											
<b>NOTA</b> As informações aqui contidas estão de acordo com nosso melhor conhecimento, indicando valores típicos obtidos para as resinas. Estes dados visam permitir a seleção e a utilização adequadas dos produtos. No entanto, estes valores não devem ser considerados como garantia de desempenho ou como limites de especificação de material. <i>NOTE This information is presented according to our best knowledge, showing typical values obtained for the resins. These data enable the choice and appropriate use of the products. However, these values should not be treated as performance guarantees or interpreted as specifications.</i>											
PARA INFORMAÇÕES ADICIONAIS, CONTATE NOSSA ÁREA DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO. <i>FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT THE TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT DEPARTMENT.</i>											

## Anexo B

		<b>POLIESTIRENO CRISTAL</b> GENERAL PURPOSE POLYSTYRENE			<b>525</b>		
<b>FICHA TÉCNICA</b> TECHNICAL DATA SHEET							
<b>CARACTERÍSTICAS</b> CHARACTERISTICS		<b>PROCESSOS</b> PROCESSES			<b>APLICAÇÕES</b> APPLICATIONS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Média fluidez, excelente processabilidade em moldes de múltiplas cavidades. Average melt flow, excellent processing in multiple cavities molds.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Injeção, extrusão e termofomagem. Injection, extrusion and thermofoming</li> <li>Coextrusão (capa de brilho) Coextrusion (gloss layer)</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>Descartáveis Disposable items</li> <li>Embalagens Packaging</li> <li>Utilidades domésticas Home appliances</li> <li>Artigos escolares School articles</li> </ul>		
<b>PROPRIEDADES</b> PROPERTIES		<b>ISO</b>			<b>ASTM</b>		
<b>REOLÓGICA   RHEOLOGICAL</b>		Norma Method	Unidade Unit	Valor Value	Norma Method	Unidade Unit	Valor Value
Índice de fluidez (200°C, 5 kg) Melt flow rate (200°C, 5 Kg)		1133	g/10 min	10	D-1238	g/10 min	10
<b>MECÂNICAS   MECHANICAL</b>							
Resistência à tração na ruptura Tensile stress at break		527	MPa	47	D-638	MPa	48
Módulo elástico por tração Tensile modulus		527	MPa	3200	D-638	MPa	3250
Resistência à flexão Flexural strength		178	MPa	90	D-790	MPa	95
<b>TERMICAS   THERMAL</b>							
Temperatura de deflexão sob carga (1,8 MPa, 120°C/h) Deflection temperature under load (1.8 MPa, 120°C/h)		75	°C	98	D-648	°C	98
Temperatura de amolecimento vicat (1 kg, 50°C/h) Vicat softening point (10 N, 60°C/h)		306	°C	106	D-1525	°C	106
<b>FÍSICAS   GENERAL</b>							
Densidade Density		1183	g/cm³	1.05	D-792	g/cm³	1.05
Contração no molde Molding shrinkage		294		0.3 - 0.6	D-955	%	0.3 - 0.6
Resistência à chama - espessura 1,9 mm Flame behavior - thickness 1.9 mm		UL-94	Classe Class	-	UL-94	Classe Class	-
† Todos os ensaios mecânicos foram realizados a 23°C. All indicated data were measured at 23°C.							
<b>PROCESSAMENTO</b> PROCESSING		Extrusão - temperatura de massa 210 - 240°C. Extrusion - melt temperature 210 - 240°C.					
		Injeção - temperatura de massa: 210 - 260°C   temperatura de molde: 50 - 75°C. Injection molding - melt temperature: 210 - 260°C   mold temperature: 50 - 75°C.					
<b>LEGISLAÇÃO</b> Se utilizado sob a forma natural e nas condições de processamento recomendadas, o produto cumpre com as exigências das resoluções 105/99 da ANVISA (Brasil) e GMC (Mercosul) e das regulamentações 21 CFR 177.1640 da FDA (EUA) e EU 10/2011 (União Europeia) para uso em contato com alimentos. O produto 525 atende os requisitos da norma UL 94, sob o File Number E235814.							
<b>LEGISLATION</b> If used in its natural form and under the recommended processing conditions, this product complies with the requirements of ANVISA 105/99 (Brazil) and GMC (Mercosur) and 21 CFR 177.1640 of the FDA (USA) and EU 10/2011 (European Union) regulations for use in contact with food. 525 fulfills the requirements of UL 94 under File Number E235814.							
Certificações ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 e OHSAS 18001:2007 por ABS Quality Evaluations. Certifications ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and OHSAS 18001:2007 certified by ABS Quality Evaluations.							
<b>SEGURANÇA</b> Durante o processamento do 525, nas condições recomendadas, quantidades de vapor de estireno muito reduzidas podem ser liberadas. Em local com adequada ventilação e renovação de ar, a concentração de estireno permanecerá em um nível muito inferior ao limite de exposição apontado pela ACGIH, não representando riscos conhecidos à saúde. Recomenda-se ler a ficha de segurança do produto (FISPQ) antes de seu uso.							
<b>SAFETY</b> This product does not pose a health hazard. When processing 525 under recommended conditions, a small amount of styrene vapors may be released. With appropriate ventilation and air renewal, the styrene concentration will stay at a level much lower than the exposure limit indicated by the ACGIH and will not pose a health hazard. Customers are requested to review the current MSDS before handling or using the product.							
<b>NOTA</b> As informações aqui contidas estão de acordo com nosso melhor conhecimento, indicando valores típicos obtidos para as resinas. Estes dados visam permitir a seleção e a utilização adequadas dos produtos. No entanto, estes valores não devem ser considerados como garantia de desempenho ou como limites de especificação de material.							
<b>NOTE</b> This information is presented according to our best knowledge, showing typical values obtained for the resins. These data enable the choice and appropriate use of the product. However, these values should not be treated as performance guarantees or interpreted as specifications.							
<b>PARA INFORMAÇÕES ADICIONAIS, CONTATE NOSSA ÁREA DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.</b> <b>FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT THE TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT DEPARTMENT.</b>							

## Anexo C

		<b>POLIESTIRENO CRISTAL</b> GENERAL PURPOSE POLYSTYRENE			<b>535</b>		
<b>FICHA TÉCNICA</b> TECHNICAL DATA SHEET							
<b>CARACTERÍSTICAS</b> CHARACTERISTICS • Média fluidez, excelente processabilidade em moldes de múltiplas cavidades. <i>Average melt flow, excellent processing in multiple cavities molds.</i>		<b>PROCESSOS</b> PROCESSES • Injeção, extrusão e termoformagem. <i>Injection, extrusion and thermoforming</i> • Coextrusão (capa de brilho) <i>Coextrusion (gloss layer)</i>			<b>APLICAÇÕES</b> APPLICATIONS • Descartáveis <i>Disposable items</i> • Embalagens <i>Packaging</i> • Utilidades domésticas <i>Home appliances</i> • Artigos escolares <i>School articles</i>		
<b>PROPRIEDADES</b> PROPERTIES		<b>ISO</b>			<b>ASTM</b>		
<b>REOLÓGICA   RHEOLOGICAL</b>		Norma Method	Unidade Unit	Valor Value	Norma Method	Unidade Unit	Valor Value
Índice de fluidez (200°C, 5 kg) <i>Melt flow rate (200°C, 5 Kg)</i>		1133	g/10 min	5	D-1238	g/10 min	5
<b>MECÂNICAS   MECHANICAL</b>							
Resistência à tração na ruptura <i>Tensile stress at break</i>		527	MPa	50	D-638	MPa	50
Módulo elástico por tração <i>Tensile modulus</i>		527	MPa	3250	D-638	MPa	3250
Resistência à flexão <i>Flexural strength</i>		178	MPa	94	D-790	MPa	100
<b>TÉRMICAS   THERMAL</b>							
Temperatura de deflexão sob carga (1,8 MPa, 120°C/h) <i>Deflection temperature under load (1.8 MPa, 120°C/h)</i>		75	°C	98	D-648	°C	98
Temperatura de amolecimento vicat (1 kg, 50°C/h) <i>Vicat softening point (10 N, 50°C/h)</i>		306	°C	106	D-1525	°C	106
<b>FÍSICAS   GENERAL</b>							
Densidade <i>Density</i>		1183	g/cm³	1.05	D-792	g/cm³	1.05
Contração no molde <i>Molding shrinkage</i>		294	%	0.3 - 0.6	D-955	%	0.3 - 0.6
Resistência à chama - espessura 1,9 mm <i>Flame behavior - thickness 1.9 mm</i>		UL-94	Classe Class	HB	UL-94	Classe Class	HB
† Todos os ensaios mecânicos foram realizados a 23°C. <i>All indicated data were measured at 23°C.</i>							
<b>PROCESSAMENTO</b> PROCESSING		Extrusão - temperatura de massa 210 - 240°C. <i>Extrusion - melt temperature 210 - 240°C.</i> Injeção - temperatura de massa: 210 - 260°C   temperatura de molde: 50 - 75°C. <i>Injection molding - melt temperature: 210 - 260°C   mold temperature: 50 - 75°C.</i>					
<b>LEGISLAÇÃO</b> Se utilizado sob a forma natural e nas condições de processamento recomendadas, o produto cumpre com as exigências das resoluções 105/99 da ANVISA (Brasil) e GMC (Mercosul) e das regulamentações 21 CFR 177.1640 da FDA (EUA) e EU 10/2011 (União Europeia) para uso em contato com alimentos. O produto 535 atende os requisitos da norma UL 94, sob o File Number E235814. <b>LEGISLATION</b> If used in its natural form and under the recommended processing conditions, this product complies with the requirements of ANVISA 105/99 (Brazil) and GMC (Mercosul) and 21 CFR 177.1640 of the FDA (USA) and EU 10/2011 (European Union) regulations for use in contact with food. 535 fulfills the requirements of UL 94 under File Number E235814.							
Certificações ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 e OHSAS 18001:2007 por ABS Quality Evaluations. <i>Certifications ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and OHSAS 18001:2007 certified by ABS Quality Evaluations.</i>							
<b>SEGURANÇA</b> Durante o processamento do 535, nas condições recomendadas, quantidades de vapor de estireno muito reduzidas podem ser liberadas. Em local com adequada ventilação e renovação de ar, a concentração de estireno permanecerá em um nível muito inferior ao limite de exposição apontado pela ACGIH, não representando riscos conhecidos à saúde. Recomenda-se ler a ficha de segurança do produto (FISPQ) antes de seu uso. <b>SAFETY</b> This product does not pose a health hazard. When processing 535 under recommended conditions, a small amount of styrene vapors may be released. With appropriate ventilation and air renewal, the styrene concentration will stay at a level much lower than the exposure limit indicated by the ACGIH and will not pose a health hazard. Customers are requested to review the current MSDS before handling or using the product.							
<b>NOTA</b> As informações aqui contidas estão de acordo com nosso melhor conhecimento, indicando valores típicos obtidos para as resinas. Estes dados visam permitir a seleção e a utilização adequadas dos produtos. No entanto, estes valores não devem ser considerados como garantia de desempenho ou como limites de especificação de material. <b>NOTE</b> This information is presented according to our best knowledge, showing typical values obtained for the resins. These data enable the choice and appropriate use of the product. However, these values should not be treated as performance guarantees or interpreted as specifications.							
<b>PARA INFORMAÇÕES ADICIONAIS, CONTATE NOSSA ÁREA DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO.</b> <b>FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT THE TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT DEPARTMENT.</b>							