

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

LEONARDO DOMINGUES RAMOS

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS BLENDS DE
COPOLÍMERO PP E PEBD RECICLADO NA CONFECÇÃO DE
PLACAS TERMO MOLDÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE ÓRTESES
ESTÁTICAS ESTABILIZADORAS DE PUNHO**

VOLTA REDONDA

2017

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
PRÓ REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS BLENDS DE
COPOLÍMERO PP E PEBD RECICLADO NA CONFECÇÃO DE
PLACAS TERMO MOLDÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE ÓRTESES
ESTÁTICAS ESTABILIZADORAS DE PUNHO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, sob a orientação do Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro, na área de processamento e caracterização de materiais, linha de pesquisa em materiais poliméricos.

Aluno: Leonardo Domingues Ramos

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

VOLTA REDONDA

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

R175e Ramos, Leonardo Domingues.
Estudo da viabilidade de utilização das blendas de copolímero PP e PEBD reciclado na confecção de placas termo moldáveis para produção de órteses estáticas estabilizadoras de punho. / Leonardo Domingues Ramos. - Volta Redonda: UniFOA, 2017.

87 p. : Il

Orientador(a): Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017

1. Materiais - dissertação. 2. Órteses. 3. Copolímero PP - reciclagem. 4. Copolímero PEBD - reciclagem. I. Montoro, Sérgio Roberto. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1

FOLHA DE APROVAÇÃO

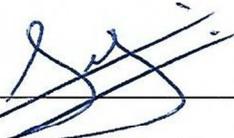
Aluno: Leonardo Domingues Ramos

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DOS POLÍMEROS
COPOLÍMERO PP E PEBD NA CONFECCÃO DE PLACAS TERMO
MOLDÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE ÓRTESES ESTÁTICAS
ESTABILIZADORAS DE PUNHO**

Orientador:

Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

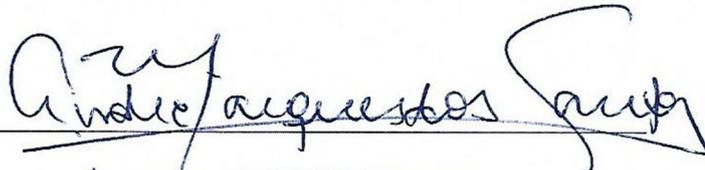
Banca Examinadora



Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro



Profa. Dra. Cirlene Fourquet Bandeira



Prof. Dr. André Marques dos Santos

“Deixem que o futuro diga a verdade e avalie cada um de acordo com o seu trabalho e realizações. O presente pertence a eles, mas o futuro pelo qual eu sempre trabalhei pertence a mim.”

(Nikola Tesla)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro pela paciência e dedicação na condução deste trabalho e aos professores do MEMAT UniFOA, que nos ensinaram neste Mestrado, pela disponibilidade e partilha de seus conhecimentos. Ao Coordenador do Programa Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago pelas agradáveis conversas e ajustes necessários. À querida Secretária do MEMAT, Ana Maria, por todo carinho, atenção, presteza e dedicação sempre impecáveis. À dona Juraci, que alegrava nossas tardes no MEMAT com seu café e bolo, feitos na hora com muito carinho. Ao valoroso amigo Luciano, monitor dos laboratórios, que nunca negou auxílio e conhecimento, mesmo nos finais de semana, sendo atencioso, zeloso e profissional em tudo o que sempre fez por nós. Aos amigos de sala pela companhia na caminhada.

Gratidão aos meus familiares e esposa, pelo abnegado apoio, muitas vezes renunciando as suas próprias vontades para me auxiliar e suportando a dolorosa saudade da distância física e emocional. Sem vocês esse momento não existiria.

Não podendo faltar... Agradeço aos amigos espirituais, por acreditarem e se envolverem, muitas vezes suportando sorrindo todo o silêncio e isolamento em que eu me colocava.

Gratidão ao Criador de nosso Universo e de outros Universos Paralelos, pela Vida, proteção, cuidados, disponibilidade dos meus sistemas sensoriais e motores, além da cognição preservada, que sempre possibilitam cada conquista minha.

Por fim, a todos aqueles que dedicaram suas Vidas, muitas vezes morrendo até queimados por suas ideias libertadoras, ao longo da história para que a Luz da Ciência brilhasse em nossas Mentas.

RAMOS, L. D. **ESTUDO DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DAS BLENDA DE COPOLÍMERO PP E PEBD RECICLADO NA CONFECÇÃO DE PLACAS TERMO MOLDÁVEIS PARA PRODUÇÃO DE ÓRTESES ESTÁTICAS ESTABILIZADORAS DE PUNHO**. 2017. 87f. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais) - Fundação Oswaldo Aranha, Campus Três Poços, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda.

RESUMO

Atuando de forma global, existe um forte movimento na busca e no desenvolvimento de inovações, que possam atenuar os impactos dos processos de extração e de produção de matérias primas e, nesse aspecto, a reciclagem de materiais encontra vasto campo para exploração. Para a produção de órteses, a partir de polímeros termomoldáveis, os investimentos e pesquisas na área de reciclagem ainda se mostram inexpressivos. Diante deste cenário, surge a proposta de utilização das blendas de Copolímero PP e PEBD reciclado como materiais alternativos aos já existentes no mercado, que atualmente são importados e de custo elevado. Com a possibilidade de se obter o material a partir de matéria reciclada, em um país onde a reciclagem atinge apenas 8% dos municípios brasileiros, é de caráter satisfatório no aspecto econômico, pois embora esses 8% pareçam ainda pequenos, isso representa cerca de R\$ 12 bilhões ao ano, que são recuperados do lixo. No presente trabalho foram caracterizadas diferentes proporções das blendas de Copolímero PP e PEBD reciclado, todos cedidos sem custo pela ValePlast – Barra Mansa. Foram caracterizadas quatro proporções dos polímeros, nas proporções de 100%, 75% – 25%, 50% – 50% e 25% – 75%. As caracterizações das misturas foram feitas através dos Ensaio de Tração e Flexão. A partir das análises de Tração, foi verificado que todas as proporções mostraram-se frágeis; entretanto, as análises de Flexão apontaram duas proporções que apresentaram possibilidade de serem utilizadas para a produção de órteses estáticas estabilizadoras de punho: 50% Copolímero PP com 50% PEBD reciclado e 75% Copolímero PP com 25% PEBD Reciclado.

Palavras-chave: Órteses, Polímero, Reciclagem, Copolímero PP, PEBD Reciclado, Ensaio de Tração, Ensaio de Flexão.

RAMOS, L. D. **STUDY OF THE FEASIBILITY OF USING THE COPOLÍMERO BLENDS RECYCLED AND PEOPLE COPOLÍMERO IN THE MANUFACTURE OF MOLDABLE TERM PLATES FOR THE PRODUCTION OF STATIC ESTABILIZER OF FIST.** 2017. 87f. Dissertation (Professional Master of Materials) - Oswaldo Aranha Foundation, Campus Três Poços, University Center of Volta Redonda, Volta Redonda.

ABSTRACT

Acting globally, there is a strong movement in the search for and development of innovations that can mitigate the impacts of the extraction and production processes of raw materials and, in this respect, the recycling of materials finds a wide field for exploration. For the production of orthoses, from thermomoldable polymers, investments and research in the area of recycling are still inexpressive. In view of this scenario, the proposal for the use of the PP Copolymer and recycled LDPE blends appears as alternative materials to those already existing in the market, which are currently imported and of high cost. With the possibility of obtaining the material from recycled material, in a country where recycling reaches only 8% of the Brazilian municipalities, it is satisfactory in the economic aspect, since although these 8% seem still small, this represents about R \$ 12 billion a year, which are recovered from the rubbish. In the present work, different proportions of the PP copolymer and recycled LDPE blends were all characterized, all of which were assigned at no cost by ValePlast - Barra Mansa. Four proportions of the polymers were characterized in the proportions of 100%, 75% – 25%, 50% – 50% and 25% – 75%. The characterizations of the blends were made through the Draw and Flexion Tests. From the Traction analyzes, all proportions were found to be fragile; However, the flexion analysis showed two proportions that could be used for the production of static wrist stabilizing orthoses: 50% PP copolymer with 50% recycled LDPE and 75% PP copolymer with 25% LDPE Recycled.

Keywords: Orthotics, Polymer, Recycling, PP Copolymer, Recycled LDPE, Tensile Test, Flexural Test.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
AVE	Acidente Vascular Encefálico
CEMPRE	Centro Empresarial Para Reciclagem
CP	Corpo de Prova
EM	Esclerose Múltipla
FM	Força Muscular
kgF	Quilograma Força
kN	KiloNewtons
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da ONU
MRC	Medical Research Councilé
Mm	Milímetros
MPa	Mega Pascal
N	Newtons
NMS	Neurônio Motor Superior
ONU	Organização das Nações Unidas
PEBD	Poli Etileno de Baixa Densidade
PC	Paralisia Cerebral
PP	Polipropileno
SNC	Sistema Nervoso Central
TCE	Traumatismo Crânio Encefálico
UNIFOA	Centro Universitário de Volta Redonda

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cadeira de rodas adaptada com alta tecnologia.....	16
Figura 2: Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro	23
Figura 3: Simbologia para identificação de tipo de Polímero nas embalagens.....	24
Figura 4: Coleta e Geração Estimada de Resíduos Sólidos – Ano 2012	26
Figura 5: Proporção dos materiais descartados.....	27
Figura 6: Municípios com Coleta Seletiva no Brasil.....	28
Figura 7: Evolução média dos custos de coleta em dólares por tonelada.....	28
Figura 8: Estabilizador de Tornozelo	35
Figura 9: Órtese AFO Pré Moldada	35
Figura 10: Órtese estabilizadora de punho, com tala.....	35
Figura 11: Pintura a óleo “A Apoteose de Homero”	36
Figura 12: Esboço de curva obtida em ensaio de tração.....	41
Figura 13: Comportamento mecânico de polímeros em condições de tração uniaxial .	42
Figura 14: Curva de Tensão-Deformação em tração para polímero semicristalino..	43
Figura 15: Fibrilamento, microvazios, fibrilas e formação de uma trinca	44
Figura 16: Ensaio de flexão em três pontos.....	45
Figura 17: Influência da temperatura sobre as características tensão-deformação.	46
Figura 18: Grãos de Copolímero PP	49
Figura 19: Grãos de PEBD	50
Figura 20: Misturas de Grãos	52
Figura 21: Homogeneizador de Plásticos MH	53
Figura 22: Painel de Controle do Homogeneizador de Plásticos MH	54
Figura 23: 100% Copolímero PP – Polímero homogeneizado após processo realizado com alternância de velocidades	55
Figura 24: Amostras homogeneizadas de Copolímero PP	55

Figura 25: Amostras Homogeneizadas: (A) – Copolímero PP e (B) – PEBD	56
Figura 26: Homogeneização das Amostras	57
Figura 27: Moinho de facas para Plásticos – PLASTIMAX.....	58
Figura 28: Copolímero PP 100% puro (coloração branca), contaminado no moinho de plásticos por material particulado (escuro)	59
Figura 29: Teste de Contaminação com o Copolímero PP 100%	60
Figura 30: Copolímero PP 100% puro, moído e aparentemente sem contaminação por material particulado desconhecido	60
Figura 31: Injetora de Polímeros para Corpos de Prova.....	62
Figura 32: Micrômetro Digimess.....	63
Figura 33A – Máquina de Ensaio EMIC DL-10.000 100 KN. 33B – Conjunto de garras para polímeros. 33C – Célula de Carga de 5 KN (500 Kgf).....	64
Figura 34: Máquina de Ensaio EMIC DL-10.000	65
Figura 35: Corpos de Provas dos Ensaio de Tração: 36A – 100% PEBD. 36B – 75% PEBD e 25% COPOLÍMERO PP. 36C – 50% PEBD e 50% COPOLÍMERO PP. 36D – 25% PEBD e 75% COPOLÍMERO PP	66
Figura 36: Corpos de Provas dos Ensaio de Flexão: 36A – 100% PEBD. 36B – 75% PEBD e 25% COPOLÍMERO PP. 36C – 50% PEBD e 50% COPOLÍMERO PP. 36D – 25% PEBD e 75% COPOLÍMERO PP	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ensaio de Tração com Amostra 100% PEBD.....	67
Gráfico 2 – Ensaio de Tração com Amostra 75% PEBD e 25% Copolímero PP	67
Gráfico 3 – Ensaio de Tração com Amostra 50% PEBD e 50% Copolímero PP	68
Gráfico 4 – Ensaio de Tração com Amostra 25% PEBD e 75% Copolímero PP	68
Gráfico 5 – Tensão de Escoamento (MPa)	69
Gráfico 6 – Tensão de Força Máxima (MPa)	70
Gráfico 7 – Módulo de Elasticidade (MPa)	70
Gráfico 8 – Ensaio de Flexão com Amostra 100% PEBD	72
Gráfico 9 – Ensaio de Flexão com Amostra 75% PEBD e 25% Copolímero PP	72
Gráfico 10 – Ensaio de Flexão com Amostra 50% PEBD e 50% Copolímero PP	73
Gráfico 11 – Ensaio de Flexão com Amostra 25% PEBD e 75% Copolímero PP	73
Gráfico 12 – Força Máxima (N)	74
Gráfico 13 – Tensão Máxima (MPa)	75
Gráfico 14 – Módulo de Elasticidade (MPa)	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Benefício Econômico da Reciclagem por Dia*	31
Tabela 2 – Pesagem das amostras de Polímeros	51
Tabela 3 – Proporções das Amostras	52
Tabela 4 – Agrupamento de dados dos Ensaios de Tração	69
Tabela 5 – Agrupamento de dados dos Ensaios de Flexão.....	74
Tabela 6 – Escala de Grau de Força Muscular.....	77
Tabela 7 – Resultados dos Ensaios de Tração nos materiais de referência	86
Tabela 8 – Resultados dos Testes de Alongamento nos materiais de referência	86
Tabela 9 – Resultados dos Testes de Memória nos materiais de referência	87
Tabela 10 – Comparação dos materiais de referência com os resultados dos Testes .	87

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa	18
1.2	Objetivos	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1	Os Polímeros	20
2.2	Classificação de Polímeros	22
2.3	Conceituação Histórica Sobre Descarte e Reciclagem	24
2.4	Produção e Coleta de Lixo no Brasil	25
2.5	Coleta Seletiva no Brasil	26
2.6	O que é Reciclagem?.....	29
2.7	Reciclagem no Brasil	30
2.8	Reciclagem e Economia	31
2.9	Reciclagem de Polímeros	32
2.10	As Órteses	33
2.11	Ensaio de Materiais	40
2.11.1	Ensaio de Tração	41
2.11.2	Deformação Plástica e Fratura	43
2.11.3	Ensaio de Flexão	44
2.11.4	Fatores que influenciam as propriedades mecânicas dos polímeros	46
2.12	Descrição dos materiais de referência existentes no mercado	47
3	MATERIAIS E MÉTODOS	49
3.1	Blendas de Copolímero PP e de PEBD Reciclado	49
3.1.1	Copolímero PP	49
3.1.2	PEBD Reciclado	50
3.2	Preparação das Amostras para testes com os Materiais Propostos	51
3.2.1	Pesagem	51
3.2.2	Misturas das Amostras	51
3.2.3	Homogeneização das Amostras	52
3.2.4	Moagem das Amostras	58
3.2.5	Injeção dos CPs – Corpos de Provas	61

3.2.6	Ensaio dos Materiais Propostos	62
3.2.7	Aferição de medidas para os ensaios	63
3.2.8	Ensaio de Tração	63
3.2.9	Ensaio de Flexão	64
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
4.1	Resultados dos Ensaio de Tração	66
4.2	Resultados dos Ensaio de Flexão	71
4.3	Discussão dos Resultados	76
5	CONCLUSÕES	79
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
	APÊNDICE A – Resultados dos Testes nos Materiais de Referência para comparações em trabalhos futuros	86

1 INTRODUÇÃO

A espécie humana vem ao longo do tempo se mostrando como a mais hábil no que diz respeito à adaptação para sobrevivência. Seja no frio dos polos, ou no calor escaldante e na aridez dos desertos, em ilhas remotas, ou vivendo em cordilheiras, o homem sempre encontra um meio de adaptar-se e sobreviver às intempéries. Essas adaptações variam de tipos de moradias, passando por vestuários, até mesmo atingindo padrões alimentares, o que faz com que o homem domine todos os continentes.

Muitos desses padrões adaptativos são simplificados e estão inseridos culturalmente, passando de forma despercebida, como o uso de peles de outros animais para se proteger do frio, modificação do meio em que vive para obter recursos e, entre uma infinidade de outras formas, há ainda o desenvolvimento de habilidades manuais, éticas e filosóficas, que são necessárias à manutenção de diplomacia e conseqüente convívio pacífico com demais humanos. A antropologia estuda profundamente este viés da espécie humana (fundamentalmente como *Homo sapiens*) e suas várias interpolações no campo da linguagem, das altas habilidades que envolvem a tecnologia, até a capacidade única de fazer julgamentos complexos que intermeiam o campo da ética.

De acordo com as teorias de Darwin em seu livro "*A origem das espécies*" publicado pela primeira vez em 1859, pode-se entender um pouco melhor sobre as implicações da evolução para os humanos. Em seu estudo é percebido como as adaptações foram cruciais para a sobrevivência e o desaparecimento de espécies e é nesse ínterim que a espécie humana se destacou, pelas inúmeras possibilidades adaptativas, proporcionadas por seu intelecto desenvolvido e capacidade de raciocínio associada às possibilidades de manuseios e manufaturas de objetos.

A espécie humana continuará a se adaptar e há a grande possibilidade, segundo as mais recentes teorias espaciais, da criação de uma nova ramificação de nossa espécie com a colonização de outros planetas e a vida com gravidade reduzida, proporcionando seres com cabeças maiores, braços mais alongados e

fortes, enquanto as pernas serão mais curtas e atrofiadas devido o desuso para caminhadas.

No tempo presente as pessoas fazem suas próprias adaptações, ou trabalham para adaptar outros humanos que perderam suas capacidades, seja parcialmente, ou de forma mais complexa. Nos exemplos mais simples são vistos os bastões de apoio para caminhar, palmilhas para corrigir a diferença de tamanho entre uma perna e outra, próteses dentárias móveis, óculos de grau, entre uma infinidade de outras adaptações que vemos todos os dias. Nos casos mais complexos estão as próteses biomecânicas, aparelhos auditivos e até mesmo cadeiras de rodas altamente sofisticadas, como a utilizada pelo Dr. Stephen Hawking (Figura 1), que possui acesso 3G e interface de comunicação avançada, dentre inúmeras outras funções, que fazem com que o físico continue a trabalhar, mesmo com uma doença degenerativa e altamente incapacitante.

Figura 1 – Cadeira de rodas adaptada com alta tecnologia.



Fonte: Julião, 2016.

Nesta constante necessidade de adaptação, a ciência se desdobra a cada dia em novos horizontes de materiais e tecnologias para, literalmente, assegurar a caminhada da espécie humana. Tanto na Área de Engenharia, quanto na Área da Saúde, os profissionais pesquisam, desenvolvem e experimentam novos recursos para garantir estabilidade, correção e mobilidade às pessoas. Dentre estes recursos, muitas vezes virtuais, como sistemas de integração, encontram-se as órteses, que são dispositivos que visam auxiliar na biomecânica de parte do corpo, podendo ser confeccionadas a partir de qualquer material, incluindo-se os polímeros termoplásticos de baixa temperatura. Estes materiais poliméricos são compostos químicos termomoldáveis que, quando conformados em órteses, facilitam o posicionamento de segmentos do corpo humano, tais como tornozelos e punhos, ou até mesmo de todo um membro.

Conforme mencionado, a crescente pesquisa no campo das órteses tem produzido materiais cada vez mais avançados e a preocupação com fatores estéticos e conforto tem favorecido também o encarecimento da matéria prima hoje no mercado. Atualmente, são encontrados inúmeros materiais termoplásticos designados exclusivamente com a finalidade de serem conformados em órteses, mas em sua maioria são caros e importados. Por mais que se busquem informações a respeito, ainda é complexo obter os detalhamentos técnicos desses materiais, dificultando a partida de novos estudos e aprimoramentos. Nos catálogos são descritas apenas informações técnicas bastante simplificadas, que são mais direcionadas ao aspecto comercial e quando são pedidos dados mais aprofundados, os representantes comerciais alegam não possuir.

Conforme descreve Lindemayer (2004), grande parte dos terapeutas ocupacionais que trabalham com a confecção de órteses, não toma conhecimento mais aprofundado sobre o material que utilizam e ficam apenas com o fornecido pela importadora, ou fornecedora. Cita que o termoplástico de baixa temperatura (polímero que amolece em temperatura entre 60 e 75°C) é o material mais comum a ser utilizado na conformação das órteses pelos terapeutas ocupacionais, devido a fatores como “...se poder criar com o material...” e “...facilidade de confecção e durabilidade...”. Todavia, as propriedades químicas desses materiais, para esta função específica, são pouco estudadas e as referências são escassas.

1.1 Justificativa

Após pesquisa no mercado, através de contatos com fornecedores e terapeutas ocupacionais que trabalham diretamente com os materiais disponíveis no mercado, constatou-se que os materiais utilizados apresentavam preço elevado (facilmente ultrapassam o custo de R\$ 400,00 por uma placa com dimensão de 1,6 mm de espessura x 45 cm de largura x 60 cm de comprimento), são de origem estrangeira e não dispõem de material bibliográfico acessível para consulta e referencias.

Sendo assim, este trabalho limitou-se ao estudo entre as informações disponíveis sobre os materiais existentes no mercado atualmente e um material de teste produzido especificamente para este trabalho. Nesse aspecto, foi necessária uma análise a partir de misturas alternativas entre as blendas de Copolímero PP e PEBD (reciclado), visando obter uma placa de polímero termomoldável que apresentasse funcionalidade aproximada às existentes e que propiciasse baixo custo de produção. Devido à escassez de informações mais aprofundadas sobre materiais disponíveis, bem como o alto custo para a aquisição das placas para serem testadas no laboratório, foi utilizado como referência algumas informações do trabalho de Lindemayer (2004), conforme pode ser visto no capítulo de Materiais e Métodos, em que a autora utilizou os seguintes termoplásticos: *Ômega, Clinic e Preferred* da marca *North Coast* e *Ezeform e Aquaplast* da marca *Sammons Preston*. Essa justificativa de uso, segundo a autora, se deu em razão de serem os mais frequentemente usados na prática clínica e, portanto, mais fáceis de serem encontrados.

Um dos aspectos que corroboram o uso das blendas de PEBD reciclado neste trabalho é que não existe no mercado nenhuma placa termomoldável para a confecção de órteses e que tenha sua origem a partir da recuperação de material descartado.

Por fim, este trabalho se justifica frente à necessidade de se ofertar um material alternativo, fácil de ser encontrado e produzido, bem como de baixo custo e que possibilite a confecção de órteses.

1.2 Objetivos

- Testar as blendas de Copolímero PP e PEBD, bem como as variações de misturas propostas, a fim de encontrar um novo composto polimérico que possa ser utilizado na produção de placa termomoldável para confecção de órteses.
- Determinar através de Testes de Flexão e Tração qual a melhor mistura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dada uma peculiaridade neste trabalho que foi a utilização das blendas de Copolímero PP e do polímero PEBD - reciclado, tornou-se necessário abrir um pouco mais a discussão para o entendimento, tanto do conceito dos polímeros, quanto das utilizações e processos de reciclagem. O conceito de reciclagem de polímeros foi abordado de forma bem aprofundada, não apenas pelo uso do PEBD reciclado, mas por ser a reciclagem o fator determinante para o uso deste tipo de polímero, sendo disponível em abundância e apresentando baixo custo. Nesta revisão também foi tratado o conceito referente às órteses, com aprofundamento em suas origens e utilizações, bem como nos materiais poliméricos que as compõem.

2.1 Os Polímeros

Cavaliere (2015) define que a palavra polímero tem sua origem na língua grega e significa muitas (polu) partes (meres). De forma simplificada, esses compostos, que formam grandes moléculas, são formados pela repetição de pequenas unidades, os monômeros, que se após uma reação de polimerização. Diz, ainda, que os Polímeros podem ser de origem orgânica ou inorgânica, naturais ou sintéticas:

- **Naturais** – como o nome já diz, são os encontrados diretamente no meio natural, tais como: borracha da seringueira, polissacarídeos como o amido da batata e a celulose das plantas verdes, proteínas como a queratina das unhas e o colágeno da pele, e os ácidos nucleicos.
- **Sintéticos** – são aqueles polímeros que necessitam de um processamento para serem obtidos. São formados basicamente por hidrocarbonetos derivados do petróleo e essas macromoléculas formam plásticos, borrachas e fibras sintéticas que, além de não serem biodegradáveis, nem sempre são recicláveis e, em geral, sua incineração causa danos ao meio ambiente.

Callister (2008) citou que os polímeros naturais são aqueles derivados de plantas e animais e tem seu uso praticado há vários séculos, incluindo madeira, borracha, algodão, lã, couro e seda. Descreveu, ainda, que a partir de modernas ferramentas de investigação científica foi possível determinar as estruturas moleculares desse grupo de materiais e o desenvolvimento de vários outros polímeros, sintetizados a partir de moléculas orgânicas pequenas. No que tange o uso dos polímeros sintéticos, tais como borrachas, plásticos e fibras, relatou seu aperfeiçoamento a partir da Segunda Guerra Mundial e que muitos tiveram suas características alteradas e tornaram-se superiores aos de origem natural e com custo menor.

Padilha (1997) descreveu que a indústria dos polímeros chegou à sua maturidade por volta de 1960. Ocorre então, segundo Melvin (1995) uma grande evolução nessa indústria, que ocorreu nas duas décadas seguintes e que se somou a outras inovações ocorridas na área de saúde. Dessa forma houve significativo crescimento para o mercado de materiais ortóticos (relacionados às órteses).

Com relação aos Polímeros Termoplásticos, Callister (2008) descreveu que são aqueles que amolecem, ou liquefazem quando são aquecidos e endurecem quando são resfriados. Esses processos são reversíveis e com possibilidade de repetição. Em escala molecular o processo de amolecimento ocorre quando material é aquecido (aumento do movimento das moléculas) e isso provoca diminuição das forças de ligação. Para os casos em que a temperatura for excessivamente aumentada, poderá ocorrer a degradação irreversível.

Neste trabalho foi utilizado um tipo de polímero chamado Copolímero PP, como alternativa na produção de órteses. Callister (2008) descreveu o Copolímero como sendo composto de duas unidades repetidas, com possibilidades diferentes de sequências de arranjos moleculares ao longo da cadeia polimérica. Quando estes arranjos assumem configuração dispersa ao longo da cadeia, forma-se um Copolímero aleatório; quando duas unidades repetidas alternam seu posicionamento ao longo da cadeia, forma-se um Copolímero alternado; quando há aglomeração de unidades repetidas idênticas ao longo da cadeia, forma-se um Copolímero em bloco; e, finalmente quando ramificações laterais de homopolímeros de um tipo determinado são enxertadas nas cadeias principais de homopolímeros formados por um tipo diferente de cadeia, forma-se um Copolímero enxertado.

Para se entender o comportamento dos polímeros, quando são submetidos ao estresse estrutural, pode-se recorrer às análises de deformação macroscópica, onde a observação da Curva Tensão-Deformação acompanha a deformação de um corpo de prova. Outra forma de analisar o resultado do estresse é através das fraturas dos polímeros, que podem apenas gerar trincas, ou até mesmo romper o material. Os ensaios destrutivos, tais como Ensaio de Tração, ou de Flexão, auxiliam a determinar vários aspectos da especificidade de determinados polímeros.

2.2 Classificação de Polímeros

O trabalho de Cavalieri (2015) descreve outra complicação, que é a pluralidade dos tipos de polímeros termoplásticos, mas que graças a uma simbologia eles podem ser melhores identificados e classificados, como mostrado a seguir:

Tereftalato de polietileno (PET): garrafas de refrigerantes, água, vinagre, detergentes e sucos.

Polietileno de alta densidade (PEAD): baldes, recipientes de condicionadores, xampus, tanques de combustível, tampas de garrafa e engradados de bebidas.

Cloreto de polivinila (PVC): cortinas de banheiros, bandejas de refeições, capas, canos, assoalhos, forros, tubos de conexão, sandália Melissa.

Polietileno de baixa densidade (PEBD): filmes, sacolas de supermercado, embalagens flexíveis, sacos de lixo.

Polipropileno (PP): recipientes para guardar alimentos (“Tupperware” ®), carpetes, embalagens de biscoitos, de iogurtes e de água mineral, seringas, cadeiras.

Poliestireno (PS): copos descartáveis, isopor, chapas coloridas, protetor de cartuchos de impressora, circuladores de ar, gavetas de geladeira, grades de ar condicionado.

Policarbonato (PC): mamadeiras, lentes de óculos, escudo antibalas.

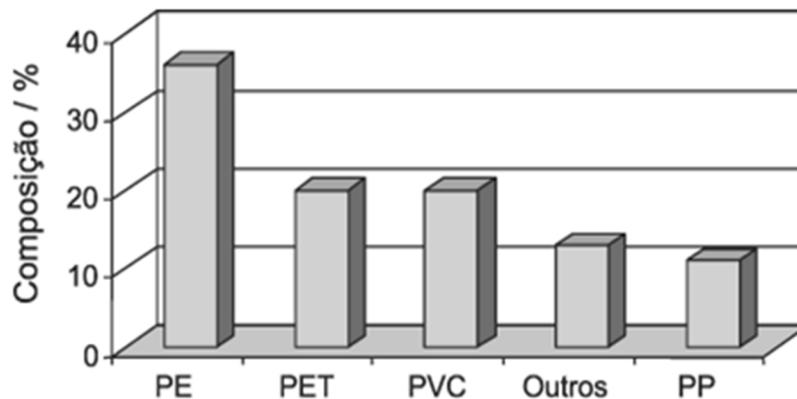
Poliuretano (PU): solados, rodas, para-choques.

Acrilonitrilabutadieno-estireno (ABS): maçanetas, carcaças de aparelhos, tubulações de produtos químicos corrosivos, brinquedos, teclados e monitores de computador.

No caso dos Polímeros, segundo Cavalieri (2015), essa separação é realizada entre os termoplásticos e os termorrígidos, também chamados de termofixos. Os polímeros termoplásticos são aqueles que quando aquecidos ficam moldáveis e fluidos, também podendo ser reciclados. Já os polímeros termorrígidos não possuem propriedades que possibilitem a reciclagem, pois não é possível amolecê-los pelo processo de aquecimento e fazer a remodelagem.

Na figura 2, que mostra a composição do lixo urbano no Brasil, observa-se que o PP, polímero utilizado neste estudo, corresponde a cerca de 10% da quantidade de resíduo polimérico termoplástico gerado pelo lixo brasileiro.

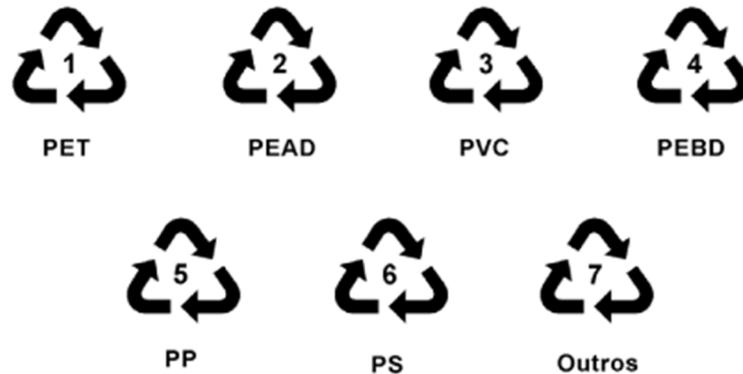
Figura 2 – Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro.



Fonte: Spinacé, 2005.

A separação dos polímeros é importante, devido as diferentes propriedades de cada um. Para tanto, a figura 3 mostra o símbolo de identificação para conhecimento como produto reciclável, nas embalagens de diversos produtos, bem como a numeração acerca de qual grupo aquela embalagem pertence. É possível assim identificar os polímeros, incluindo-se o PP e o PEBD, ambos propostos para este trabalho e que são descartados diariamente como lixo.

Figura 3 – Simbologia para identificação de tipo de Polímero nas embalagens.



Fonte: ABNT: Norma NBR 13.230, 2008.

2.3 Conceituação Histórica Sobre Descarte e Reciclagem

No desenvolvimento das civilizações, desde a pré-história, não se observam fatos de que o homem se preocupou em seguir um caminho que possibilitasse realizar extração, manufatura e utilização de materiais, com a reutilização do lixo gerado através de um processo de reciclagem. Inicialmente, os hominídeos descartavam as carcaças dos animais que não utilizava para o consumo alimentar, desprezando, por exemplo, ossos que poderiam se transformar em objetos e ferramentas. Na medida em que o pensamento foi sendo mais solicitado e o intelecto aprimorou-se, possibilitando o maior desenvolvimento do telencéfalo, o homem se tornou mais inventivo no que tange a criação de ferramentas, produtos e serviços. Mesmo com maior avanço no pensamento, o homem seguiu descartando, sem reaproveitamento, o que de imediato não servia mais.

Na medida em que os séculos avançaram o homem tornou-se mais civilizado, mais tecnológico e conseqüentemente, também passou a produzir um tipo de lixo mais elaborado do que as simples carcaças de animais, chegando até o descarte de material radioativo processado e enriquecido.

Onusseit (2006) fala sobre a idéia de um desenvolvimento sustentável, pois até o início da Revolução Industrial ninguém pensava sobre limitação dos recursos naturais. Sendo assim, a atenção dada para os processos que tratam desses recursos tornou-se cada vez importante, como pode ser observado no preâmbulo do documento intitulado “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, emitido pela ONU (2016), há um item sobre o

Planeta Terra que diz: *“Estamos determinados a proteger o planeta da degradação, sobretudo por meio do consumo e da produção sustentáveis, da gestão sustentável dos seus recursos naturais e tomando medidas urgentes sobre a mudança climática, para que ele possa suportar as necessidades das gerações presentes e futuras.”*

É necessário pensar que os recursos não são infinitos e que urge a demanda no desenvolvimento de tecnologias que possibilitem economizar, ou reprocessar esses recursos e nesse aspecto entra a reciclagem de materiais.

Como foi dito, toda a problemática do lixo limitava-se apenas ao descarte de material orgânico, mas no século XX foi necessário pensar diferente, tomando mais responsabilidade e atenção sobre o destino de todo lixo, inclusive o industrial que também consistia em um grande problema. Neste ínterim, até a metade do século passado, EUA e Europa jogavam grande parte do lixo coletado nos mares (gerando grandes problemas como o grande “lixão” do pacífico), rios e áreas limítrofes. O lixo que outrora era constituído apenas de material orgânico, atualmente ele tem características diversas e pode ser eletrônico, radioativo, industrial, químico, entre outras inúmeras configurações.

Assim, com o desenvolvimento de sociedades mais organizadas e mais dispostas ao equilíbrio natural, surgiram novos conceitos que visam uma administração melhor dos recursos, bem como a reutilização destes, surgindo assim os conceitos relativos à Reciclagem.

2.4 Produção e Coleta de Lixo no Brasil

Tendo como um dos polímeros para análise neste trabalho o PEBD (reciclado), cabe mencionar alguns aspectos relacionados à coleta e produção de lixo no Brasil, o que auxilia no entendimento da grande massa de plásticos que está disponível nos descartes e acessível a um baixo custo.

Hage (2013) descreve que em 2010 houve a aprovação, pelo Congresso Nacional, da Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei 12.305/10. Houve, então, a necessidade de indução para o desenvolvimento da reciclagem sobre aspectos mais palpáveis e mensuráveis. A logística reversa (coleta e o retorno de materiais à indústria após o consumo) passou a ser obrigatória para alguns setores. Estava prevista na Legislação a responsabilidade compartilhada entre governo, empresas e população na questão dos resíduos urbanos, que determinava

o cumprimento das medidas para ocorrerem até 2014, onde o descarte em aterros sanitários seria apenas para os materiais que não podem ser reciclados. Não houve cumprimento do prazo e a data foi prorrogada para 2024, conforme nos descreve Souza (2016), através do Projeto de Lei Complementar (PLP) 14/15, que embora amplie prazos, obriga a União a oferecer apoio técnico e financeiro aos estados e municípios, tanto na elaboração, quanto na execução dos respectivos planos de saneamento básico e de resíduos sólidos.

Conforme pode ser visto na figura 4, existe a informação de que somente 87,4% do lixo eram corretamente coletados no Brasil, tendo como referência o ano de 2012. Com isso verificamos que aproximadamente 24.340 toneladas de lixo por dia eram perdidas e não destinadas.

Figura 4 – Coleta e Geração Estimada de Resíduos Sólidos – Ano 2012.



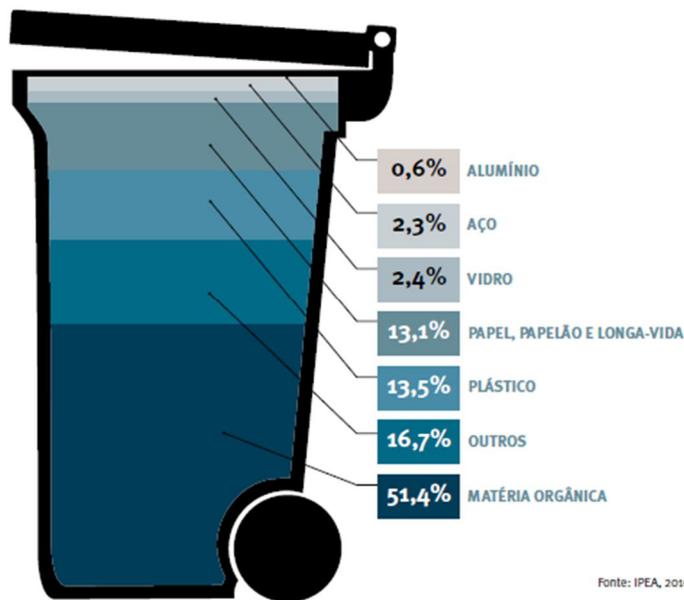
Fonte: CEMPRE Review, 2013.

2.5 Coleta Seletiva no Brasil

Quando o estudo do Centro Empresarial Para Reciclagem – CEMPRE (figura 5) foi publicado em 2013, informando a porcentagem de cada material descartado no lixo comum, foi obtida a dimensão dos materiais disponíveis para a coleta seletiva. Nesse aspecto, verifica-se que os polímeros plásticos respondem por 13,5% do total do lixo descartado.

Em síntese, essa informação aponta que uma fração desses 13,5% é a matéria prima para a formação de placas de PEBD reciclado e está disponível a um baixo custo, conforme aponta a informação “outros” no gráfico da figura 2. Este mesmo gráfico indica disponibilidade de cerca de 10% do descarte de polímeros no lixo ser formado por PP. Estas informações apontam para um viés de recuperação de material de descarte contendo PEBD e PP por preços mais baixos e com apelo ambiental forte.

Figura 5 – Proporção dos materiais descartados.

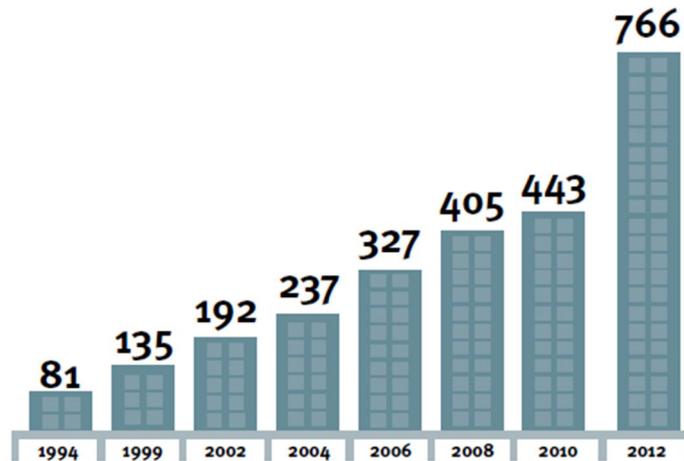


Fonte: CEMPRE Review, 2013.

Maciel (2014) descreve que, desde que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi aprovada em 2010, houve um aumento de 109% no número de cidades do Brasil que fazem coleta seletiva. Entretanto, apenas 13% dos cidadãos brasileiros têm acesso. Nesta mesma matéria, ela cita o CEMPRE com um estudo que informa que são 927 as cidades brasileiras que praticam algum tipo de coleta e esse número representa 17% do total de municípios. Nesse aspecto, apenas 28 milhões de pessoas tem acesso a esse serviço. Desse número de municípios, segundo esse estudo, as regiões Sudeste e Sul representam um total de 81% dos municípios com programas de coleta, o Nordeste é responsável por 10%, o Centro-Oeste representa 7% e a Norte tem a menor taxa de adesão ao programa com apenas 2% do total.

Segundo dados do CEMPRE (2013), o plano do governo é atender 59% dos habitantes que vivem em cidades, somando 94 milhões de brasileiros. Existe, ainda, o Programa Pró-Catador, do Ministério do Trabalho e Emprego, que reservou R\$ 185 milhões para os governos estaduais apoiarem seus municípios. A injeção de investimentos na estruturação da reciclagem inclui ainda recursos de empresas estatais, como Banco do Brasil e BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social). A figura 6 mostra a ascensão dos municípios brasileiros, de 1994 a 2012, com programas de coletas seletivas implantados.

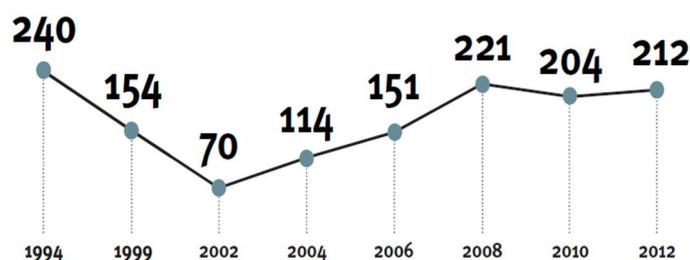
Figura 6 – Municípios com Coleta Seletiva no Brasil.



Fonte: CEMPRE Review, 2013.

Existe um grande desafio relacionado à Coleta Seletiva que é a “redução dos custos x aumento da produtividade”, pois o modelo atualmente utilizado é caro, conforme mostrado na figura 7, e dependente de subsídios. Os dados do CEMPRE afirmam que em 2012, o custo da coleta seletiva se mostrava 4,5 vezes superior ao da coleta convencional.

Figura 7 – Evolução média dos custos de coleta em dólares por tonelada.



Fonte: CEMPRE Review, 2013.

Embora os dados atualizados sobre os custos ainda não tenham sido encontrados disponíveis, as informações obtidas até o momento já apontam para uma possibilidade grande de recuperação dos materiais propostos para este trabalho (PP e PEBD) em grande parte do território nacional, sendo que em muitos municípios a recuperação dos materiais já é subsidiada pelo Governo Federal.

2.6 O que é Reciclagem?

De forma bem simples, segundo Ecycle (2015), o conceito de Reciclagem é descrito como o de pegar algo que não se utiliza mais e transformar de novo em matéria prima, formando novamente um item igual, ou até mesmo sem relação alguma com o anterior. Ecycle destaca ainda, incorporando um conceito histórico e afirmando que o termo reciclagem faz parte do cotidiano de bilhões de pessoas em todo o planeta e isso inclui o Brasil.

Ribeiro (2015) nos esclarece a respeito do que vem a ser Reciclável e diz que todo o resíduo descartado que constitui interesse de transformação de partes ou o seu todo é considerado reciclável. Complementa informando sobre retorno dos materiais à cadeia produtiva para virar o mesmo produto ou produtos diferentes dos originais.

Cabe ressaltar que Garcia (2015), do Ministério do Meio Ambiente do Brasil, descreve que *a reciclagem atua para reduzir de forma importante o impacto sobre o meio ambiente, pois diminui as retiradas de matéria-prima da natureza, gerando economia de água e energia, além de reduzir a disposição inadequada do lixo.*

Quando o espectro de possibilidades da Reciclagem no Brasil é analisado, verifica-se que o que está em jogo não é apenas a viabilidade econômica, mas também a geração de empregos e o bem-estar de milhares catadores, muitos deles organizados em cooperativas.

Conforme descrito na CEMPRE Review (2013), em 2012 foram analisados vários dados pré-existentes sobre saneamento, sendo disponibilizadas informações inéditas sobre o mercado da reciclagem no Brasil, indo desde a coleta até o destino final dos resíduos. Essas informações descrevem que cerca

de 40% dos resíduos acabam em lixões e aterros sem os cuidados e tratamentos ambientais necessários. Neste aspecto, de acordo com esse estudo, o Brasil está posicionado no meio, entre os países desenvolvidos e a África, mas com uma tendência para evoluir com índices melhores. Em um país como o Brasil, com proporções continentais e desorganização governamental, aferir a reciclagem é um trabalho complexo e isso envolve o grau de informalidade do mercado (cooperativas e catadores autônomos sem registro e controles), dados oficiais consistentes e abrangentes são inexistentes, diferentes realidades culturais e políticas dentro do mesmo território da federação e a multiplicidade de atores que participam do mercado. Há a informação da CEMPRE (2012) de que um dos poucos estudos sobre aspectos econômicos da reciclagem foi realizado pelo IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), no ano de 2010, com a constatação de que o país perde anualmente, enterrando lixo que poderia ser reprocessado em matéria prima, cerca de R\$ 8 bilhões.

2.7 Reciclagem no Brasil

Como uma parte dos polímeros analisados nesse trabalho são de origem reciclada, compondo a massa de PEBD utilizada nos testes, é válido descrever os dados sobre a reciclagem no Brasil. Segundo o PORTAL BRASIL (2014), do governo Federal, a Reciclagem atinge apenas 8% dos municípios brasileiros e quase todo esse material coletado passa pela mão de catadores contratados por prefeituras. Embora esse 8% pareçam ainda inexpressivos, no Brasil isso representa cerca de R\$ 12 bilhões ao ano, com uma perda adicional de R\$ 8 bilhões citados acima. Em síntese, parte do material que pode ser convertido em órteses pode ser retirada do lixo e com baixíssimo custo.

Foi estimado pelo CEMPRE (2012) que, no ano de 2012, a coleta, a triagem e o processamento dos materiais em indústrias recicladoras geraram um faturamento de R\$ 10 bilhões no Brasil. Estima-se para os próximos anos uma significativa expansão no desenvolvimento da indústria de reciclagem, embora os valores desta expansão ainda não foram divulgados.

Com base nos dados da CEMPRE Review (2013), o Brasil dá passos importantes para estar entre os principais países que se preocupam com a

Reciclagem. É descrito que o potencial da Reciclagem é proporcional ao desenvolvimento econômico, aos avanços nas práticas de sustentabilidade das empresas, às ações de governo bem construídas e a uma maior conscientização por parte do consumidor. Cita ainda uma tendência em o crescimento ser acelerado à medida que a lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos é colocada em prática dentro de um ambiente regulatório favorável a novos investimentos.

Continuando com as informações descritas pela CEMPRE Review (2013), existem projeções com base em dados públicos do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) e de associações empresariais que mostram que aproximadamente 27% dos resíduos recicláveis (fração seca) coletados nas cidades foram recuperados em 2012, o que significa que esse volume foi desviado dos lixões e aterros, retornando à atividade produtiva.

2.8 Reciclagem e Economia

Um dos principais atributos ligados ao uso de materiais reciclados neste trabalho está diretamente relacionado à economia e ao meio ambiente. Conforme pode ser visto na Tabela 1, o uso da reciclagem auxilia a reduzir os impactos sobre a extração de matéria prima, aquisição de energia, emissão de gases nocivos e interferência na biodiversidade, aspectos estes que, conseqüentemente, geram movimento positivo na economia.

Tabela 1 – Benefício Econômico da Reciclagem por Dia*.

Material	Benefício econômico por dia				
	Reciclagem incremental (ton/dia)	Insumos (R\$)	Ambiental (CO ₂ , energia e biodiversidade) (R\$)	Custo adicional da reciclagem (R\$/ton)**	Benefício total (R\$/dia)
Aço	253	32.164	18.741	113	22.287
Alumínio	61	164.496	20.539	113	178.189
Celulose	1.397	460.854	33.517	113	336.563
Plástico	554	644.545	31.009	113	612.982
Vidro	246	29.572	2.711	113	4.436
Total	2.511	1.331.632	106.517		1.154.457

* Projeção com base na cobertura de 90% da população das cidades-sede da Copa do Mundo com coleta seletiva

** Custo da coleta seletiva (R\$136/ton) menos custo da disposição em aterro (R\$ 23/ton)

Fonte: IPEA – adaptada de CEMPRE Review, 2013.

Há, ainda, ganhos sociais agregados à Reciclagem, presentes nas cooperativas de catadores e centrais de seleção de resíduos e unidades recicladoras. Contudo, se ainda estes argumentos não forem aceitos, existe uma argumentação financeira, descrita pelo CEMPRE (2012) e que especifica que cada vez mais as decisões de compra que são tomadas procuram levar em conta os aspectos relacionados aos impactos em todo o ciclo de vida dos produtos, desde a matéria-prima até destinação final. Os ganhos sociais e ambientais estão juntos com a redução de custos. Como exemplo, o estudo cita a substituição da celulose virgem por fibras recicladas, que permite a economia de R\$ 331 por tonelada, correspondendo a quase metade do custo sem a reciclagem, que é de R\$ 687 por tonelada. Nesse aspecto cabe analisar os aspectos econômicos e as viabilidades para a reciclagem de polímeros.

2.9 Reciclagem de Polímeros

É comum no Brasil, em linguagem mais generalista, dizer que os polímeros são “plásticos”. Segundo informado pelo CEMPRE (2012), os plásticos correspondem atualmente a 13,5% do descarte de resíduos de lixo no Brasil.

Este tipo de material já foi considerado como solução, inclusive na construção civil, sendo abordado como o material que seria amplamente utilizado no futuro, contudo hoje preocupa-nos em relação ao “legado” deixado por nossa geração, no que tange o acúmulo desses resíduos sem o devido reprocessamento.

Cavaliere (2015) descreve 4 tipos de Reciclagem de Polímeros em seu trabalho de referência:

Reciclagem primária: reaproveitamento dos materiais para outras finalidades. Como exemplo muito comum, temos os usos de vasilhames plásticos já utilizados, para acondicionamento de outros tipos de produtos.

Reciclagem secundária ou mecânica: há a transformação dos resíduos plásticos em pedacinhos, que podem ser reutilizados na fabricação de outros materiais de menor qualidade, como pisos, sacos de lixo, entre outros. Esse tipo de reciclagem possibilita a obtenção de vários produtos compostos por um único tipo de plástico, ou a partir de diferentes misturas de diversos tipos de plásticos.

Reciclagem terciária ou química: reprocessamento dos polímeros plásticos, permitindo transformá-los em monômeros, ou misturas de hidrocarbonetos, que poderão ser reutilizados como matéria-prima para a produção de novos plásticos de alta qualidade, ou até mesmo serem utilizados em outros produtos químicos. Essa reciclagem permite reduzir custos de pré-tratamento, coleta e seleção.

Reciclagem quaternária ou energética: através de tecnologia específica, o resíduo plástico é utilizado como combustível, para a obtenção de energia elétrica e térmica. Esse tipo de reciclagem já é utilizada em muitos países. O IPCC/ONU recomenda essa forma de reciclagem como solução para a destinação do lixo urbano não-reciclável de forma convencional. No Brasil esta modalidade ainda não é empregada e é claramente confundida com a simples incineração dos resíduos sólidos.

2.10 As Órteses

Basicamente o grupo de equipamentos que auxiliam, ou substituem, a biomecânica e seu funcionamento estão divididos em dois tipos:

Órteses – Auxiliam ou corrigem a função.

Próteses – Substituem a função.

Concentrando a atenção para as órteses, que é o foco do produto deste trabalho, é visto que para Louro (1940) a palavra órtese é originada da palavra grega *orthósis*, que é formada de *orthós* (reto, direito) e o sufixo *sis* (ação, estado ou qualidade). Sendo assim, *Orthósis torna-se um conceito para expressar a ação de endireitar, ou retificar*. As modificações das palavras acabam se dando de cultura para cultura e, segundo Marcovecchio (1993) a alteração gráfica de *Orthose* para *Orthèse* se deu na língua francesa, a partir de 1975 e sem nenhuma razão que a justificasse. Em nossa língua portuguesa o deslocamento do acento tônico acabou indo para a primeira sílaba, resultando assim em *Órtese*.

Os relatos sobre o uso de Órteses ao longo da história são inúmeros, estando descritos esses equipamentos em vários textos que podem ser históricos, religiosos, ou até mesmo em pinturas. Em seu trabalho, Lindemayer (2004), cita que as

Órteses são utilizadas desde a Antiguidade e relata que Hipócrates já falava em “*princípios para os tratamentos de enfermidades ortopédicas*” e que são utilizados ainda hoje para produção de órteses. Consta ainda, que em vários períodos da História a descrição de utilização de Órteses:

- Galen (131–201DC).
- Caelius Aurelianus (400DC).
- Guy de Chauliac (1300–1368).
- Ambroise Paré (1509–1590).

Como aplicações básicas, Fess (1987) descreve que as Órteses são largamente indicadas para o tratamento das mais variadas patologias, tendo a sua utilização estabelecida dentro de um período específico e determinado para a ação mais benéfica para o paciente, variando de acordo com cada caso.

A área que estuda e desenvolve as órteses é chamada de ortótica e Trombly (1989) refere a ortótica como um segmento da reabilitação que objetiva adaptação, construção e o treinamento para o uso desses dispositivos, onde as suas aplicações nos pacientes visam recuperar ou substituir uma função perdida.

Cotidianamente é observada aplicação das Órteses para uma infinidade de utilizações, que vão desde uma simples contenção de fraqueza muscular, até limitação de variações de movimento, como nos casos de entorses; para estes casos específicos o caráter pode ser temporário, sendo este uso implicado de acordo com a alteração de função que o paciente apresenta. Já para os casos em que seja necessária uma continuidade permanente, esta visa a restauração de uma função perdida; como exemplo, é citado neste caso as órteses que dão sustentação ao pé, evitando o *desabamento* em plantiflexão (pé caído), para os pacientes com lesões como apoplexias leves, AVC – Acidente Vascular Cerebral, lesão de nervo fibular, fraqueza de tibial anterior, entre outras, conforme pode ser visto na figura 8 e na figura 9, ambas constituídas em polímero termomoldável.

Para este trabalho, onde foram analisadas as combinações de blendas de Copolímero PP e de PEBD reciclado, a órtese a ser constituída é a utilizada para a estabilização da articulação do punho, com tala, conforme pode ser observado modelo na figura 10.

Figura 8 – Estabilizador de Tornozelo.



Fonte: Reforce Ortopédicos, 2016.

Figura 9 – Órtese AFO Pré Moldada.



Fonte: P2Fisio, 2016.

Figura 10 – Órtese estabilizadora de punho, com tala.



Fonte: ISP – Instituto São Paulo, 2017.

Pode-se dizer que tanto as órteses temporárias, quanto as órteses permanentes, constituem importante recurso na contenção e no tratamento de variados pacientes, com diferentes características e patologias diversificadas.

Na diferenciação das órteses, tanto na literatura, quanto na disponibilidade de materiais existentes no mercado, observa-se que conceitualmente existem três tipos de órteses:

Estáticas, que imobilizam ou estabilizam o membro, ou parte do corpo, em um posicionamento específico e predeterminado pelo profissional que fez a indicação e adaptação.

Dinâmicas, que permitem certa mobilidade das articulações, mas de forma controlada.

Híbridas, ou dinâmicas robotizadas, que podem ter controle extrínseco através de uma fonte comandada por outra parte do corpo do usuário.

Os materiais utilizados para a confecção das órteses variaram em sua utilização e podemos ver inúmeros exemplos de órteses descritos ao longo da história. Inúmeros materiais são utilizados desde a antiguidade, tais como madeira, metais, ossos e gesso. Em sua maioria passam despercebidos, disfarçados de cetros, cajados ou outros artefatos associados ao poder, muitas vezes até religioso, e não somente à perda ou incapacidade da função motora. Conforme é observado na obra “A Apoteose de Homero”, pintada por Jean Auguste Dominique Ingres, conforme visto na figura 11, é percebida a importância do bastão, seja como objeto de poder ou de apoio, não sendo deixado de lado nem no momento da sua coroação feita por um anjo.

Figura 11 – Pintura a óleo “A Apoteose de Homero”.



Fonte: Pinterest, 2017.

Conforme descreve Kogler (2000), os materiais plásticos para a utilização nas órteses surgiram logo após a II Grande Guerra Mundial, em decorrência da necessidade de reabilitar militares feridos ou lesionados durante os combates.

Como um padrão de moda masculina no século XIX, as bengalas eram usadas como símbolo de elegância. Atualmente, como exemplo, é visto um

modelo de órtese bastante usado para auxiliar na função, só que de pessoas saudáveis, são os bastões de caminhada, que vão desde galhos retirados da Natureza até modelos mais sofisticados com compósitos feitos em alumínio, borracha, fibra de carbono, polímeros ou outros.

Os materiais plásticos, quase em sua totalidade, apresentam-se leves e flexíveis, além de boa resistência à corrosão e ação do Tempo. Padilha (1997) aponta os materiais poliméricos como uma boa escolha para o desenvolvimento das órteses.

É descrito por Shuhong (1994) que os materiais poliméricos, que existem hoje no mercado para a confecção de Órteses, apresentam a característica de serem termomoldáveis em temperaturas que variam de 50°C a 80°C. Esta curva de temperatura faz com que esses materiais apresentem uma maior resistência à deformação, quando expostos às temperaturas ambientes comuns para o convívio humano. É possível se trabalhar com esses materiais, conseguindo conformá-los, com imersão em água aquecida em temperaturas razoáveis. Esses materiais são os mais comumente utilizados pelos terapeutas ocupacionais em sua prática clínica que envolve a confecção rápida de órteses com acabamento simples, sem oferecer grandes custos ou grandes riscos de trabalho, tanto para o profissional, quanto ao paciente.

Os profissionais da área de saúde, principalmente os terapeutas ocupacionais que utilizam esses polímeros, acabam por utilizar duas nomenclaturas para defini-los: Termoplásticos ou Termomoldáveis. Na literatura de apoio, costuma-se encontrar descrito o termo “Termoplástico” e vemos na prática clínica que estes podem ser de alta temperatura (149°C a 177°C) ou de baixa temperatura (inferior aos 149°C). A confecção de Órteses em termoplásticos de alta temperatura leva mais tempo do que a dos termoplásticos de baixa temperatura, conforme descreve Silveira (1981); esta demora se dá principalmente pelo tempo de resfriamento e pela impossibilidade de se realizar a modelagem mais rápida e no local onde o paciente está sendo atendido, além do fato de que os termoplásticos de baixa temperatura podem ser moldados diretamente sobre o membro, ou parte do corpo do paciente.

Outro aspecto interessante, que se percebe na prática da utilização dos termoplásticos de baixa temperatura é que se pode reaquecer e remodelar para realização das adaptações, sem grandes custos, prejuízo de tempo, ou risco

alto de perda do material, todavia ainda é um material caro e isto acaba tornando inviável para alguns pacientes de baixo poder aquisitivo.

Não obstante ser necessário ter conhecimento muito bem fundamentado nas áreas de Anatomia Humana e Biomecânica é fundamental que se conheça as especificidades dos materiais disponíveis para a confecção de órteses. Esses materiais possibilitam a confecção de órteses com mais conforto, menos tempo e custos mais acessíveis.

Existem algumas características que devem ser consideradas na escolha da matéria prima e parte dessas características está descrita por Pedretti e Early (2004):

Resistência ao Alongamento

Em síntese é a capacidade que um material tem de suportar ser alongado e, até que ponto, este pode ser puxado ou esticado. Quanto maior for a resistência do material ao alongamento, maior será a possibilidade de ele manter sua forma quando aquecidos e isso aumenta o controle do terapeuta sobre o material durante a confecção.

Acomodação ou Caimento

Também descrito pelo autor como “Moldabilidade”, essa característica é muito análoga à anterior. De forma bem sintética “é como se fosse uma roupa que acompanha as curvas do corpo”. O material com bom Caimento tende a acompanhar a Anatomia.

Memória

Essa característica é uma das mais importantes, pois ela se refere na capacidade do material em ser modelado no formato anatômico de destino, permanecendo nesse formato, inclusive nos casos em que o material passar por reaquecimento para remodelagem e adaptação, mesmo depois de prontas.

Rigidez e Flexibilidade

É necessário conciliar essas duas características, pois um material rígido é resistente a forças grandes e sob a atuação dessas podem quebrar, enquanto que os materiais flexíveis não tendem a quebrar, mas se dobram com facilidade, mesmo sob a ação de pequenas forças.

Auto-Aderência

Esta característica refere-se à capacidade de um material em aderir a si mesmo, quando for submetido ao aquecimento e concomitantemente pressionado. Isso proporciona mais praticidade para o acoplamento de partes adicionais.

Bordas Auto-Selantes

Em síntese é a capacidade do material em que suas bordas se arredondam quando o material é aquecido e cortado. Assim, a Órtese fica mais confortável e mais segura para o paciente, não havendo risco de pequenas lesões de pele. Isso não é uma característica fundamental, pois é possível utilizar equipamentos para proporcionar o acabamento.

Breger-Lee e Buford (1992) descrevem que as características podem ser agrupadas em apenas duas mais amplas e muito importantes, que são a Moldabilidade e a Durabilidade. Todavia, há que se concordar que o conforto oferecido por uma órtese pronta poderá estar intimamente relacionado ao seu peso, que invariavelmente está associada com a densidade do material e acabamento dado.

A Moldabilidade assegura a possibilidade de modelar o termoplástico, em temperatura que seja suportável pelo paciente, sem causar queimaduras, fazendo com que a modelagem seja feita diretamente sobre a pele.

A Durabilidade é exatamente o tempo de vida útil da órtese. Este fator deve ser considerado, em relação aos custos, pois a inutilização de uma órtese por efeitos mecânicos sofridos na mesma, ou alteração anatômica do paciente (crescimento, ganho de peso ou deformidade) força a modelagem de outra.

Nesses aspectos os termoplásticos de baixa temperatura por terem a capacidade de serem remodelados, quando aquecidos novamente, são mais vantajosos, possibilitando reajustar uma órtese de acordo com a necessidade.

Além dessas características apresentadas, há outra que é essencial, chamada de Higienização. Não adianta cumprir critérios de estética, leveza, funcionalidade e preço, se não for possível manter o produto limpo e higienizado. Uma Órtese tem que ser higienizada de forma eficaz e ao mesmo tempo simples.

2.11 Ensaio de Materiais

Conforme comentado, é necessário submeter os polímeros ao estresse estrutural, para se entender melhor como este material vai se comportar quando em uso. Esse estresse estrutural é fornecido dentro de ensaios que verificam as propriedades mecânicas dos materiais e, segundo descreve Garcia (2000), podem ser:

Resistência: representadas por tensões, definidas em condições particulares;

Elasticidade: propriedade do material, segundo a qual a deformação que ocorre em função da aplicação de tensão, desaparece quando a mesma é retirada;

Plasticidade: capacidade em que o material é exposto a tensões que o deformam permanentemente, contudo sem ocorrer ruptura;

Resiliência: capacidade de absorção de energia no regime clássico;

Tenacidade: reflete a energia total necessária que provoca fratura do material, a partir de sua condição onde a tensão é nula.

Como finalidade para o ensaio dos materiais, Garcia (2000) descreve dois aspectos de grande relevância:

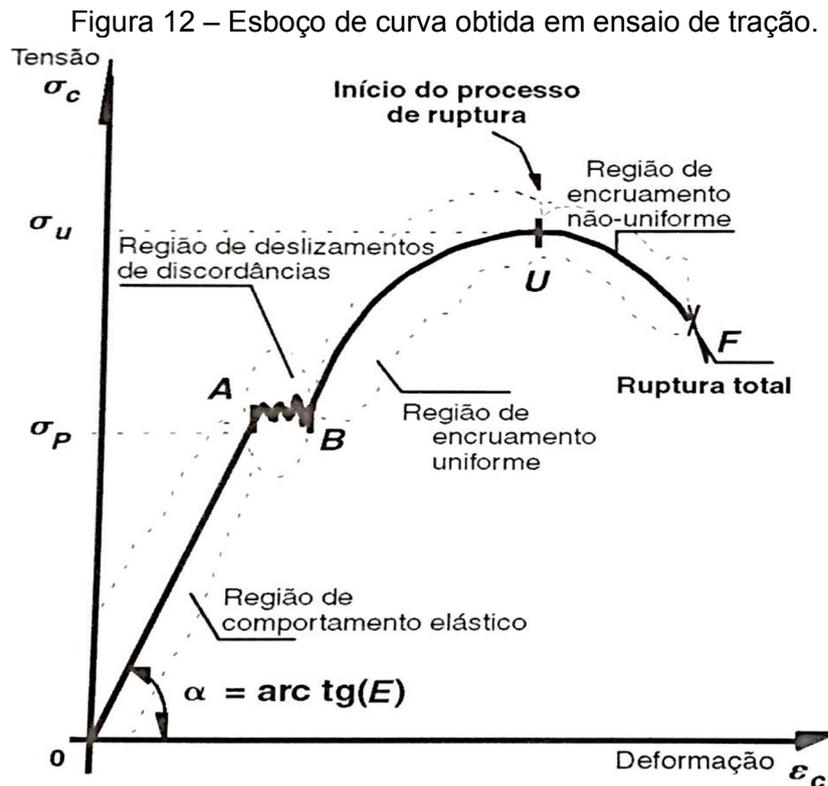
1. Os ensaios permitem que se obtenham informações do produto, tais como os ensaios de controle, que auxiliam tanto no recebimento de materiais dos fornecedores, quanto no controle do produto final acabado.
2. A partir da obtenção dos dados nos ensaios é possível desenvolver novas informações sobre os materiais, criar e/ou modificar processos de fabricação e tratamentos.

Neste trabalho foram utilizados dois tipos de ensaios, de características destrutivas, que são os Ensaio de Tração e os Ensaio de Flexão, que visam

observar as características de resistência do material proposto, quando submetidos a forças

2.11.1 Ensaio de Tração

Este tipo de ensaio utiliza corpos de prova segundo normas técnicas convencionais (**ASTM** - *American Society for Testing and Materials* e **ABNT** Associação Brasileira de Normas Técnicas) e consiste, segundo Garcia (2000), na aplicação gradativa de carga de tração uniaxial às extremidades do corpo de prova. Em síntese, o levantamento da curva de tensão de tração pela deformação (figura 12) sofrida pelo corpo constitui o resultado do teste de tração.



Fonte: Garcia, 2000.

No gráfico em questão, tem-se até o ponto da região A o comportamento elástico, na região de A' onde ocorre o deslizamento de discordâncias, até a região B é exatamente uma área definida como sendo de encruamento. Deste ponto em diante o processo de ruptura se inicia e é concluído na região de tensão com a deformação, no ponto C. Para materiais com alta capacidade de deformação

permanente, o diâmetro do corpo-de-prova começa a decrescer rapidamente ao ultrapassar a tensão máxima.

Mas, no caso específico dos polímeros, são encontrados três tipos de comportamento tensão-deformação diferentes:

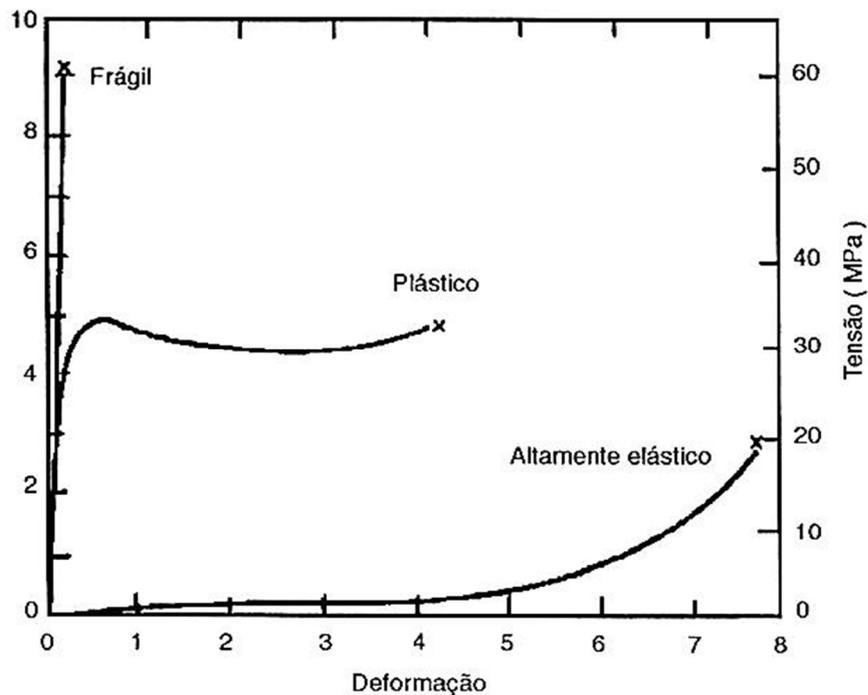
Frágil: a fratura ocorre quando o material se deforma apenas elasticamente;

Plástica: semelhante aos materiais metálicos;

Totalmente elástica: alta deformação com baixa tensão.

Podem ser vistos na figura 13 esse três exemplos de comportamento tensão-deformação em polímeros, submetidos a uma tração uniaxial.

Figura 13 – Comportamento mecânico de polímeros em condições de tração uniaxial.



Fonte: Garcia, 2000 – adaptado de Callister, 1994.

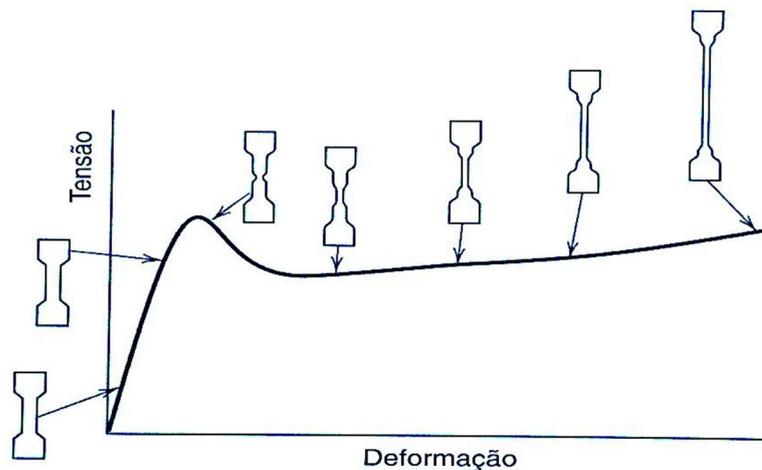
Quando determinada amostra de um material, solicitada por uma força, sofre uma deformação e, depois de retirada a força aplicada, recupera suas dimensões originais, a definição para este processo é deformação elástica. O módulo de elasticidade fornece uma indicação da rigidez do material e depende

fundamentalmente das forças de ligações interatômicas, o que explica seu comportamento inversamente proporcional à temperatura.

Existe uma correlação entre o trabalho mecânico executado durante o carregamento uniaxial no campo elástico e as correspondentes deformações e propriedades termodinâmicas como entropia e temperatura. É importante salientar que a aplicação rápida de tensão elástica em uma amostra, de tal forma que o limite do campo elástico seja alcançado antes que a amostra possa trocar calor com o ambiente, gera resultados diferentes para cada material. No que se refere ao comportamento físico mecânico de um polímero, alguns fatores devem ser levados em conta, principalmente a massa molecular, as temperaturas características e a temperatura ambiente na qual a medida esta sendo feita.

Na figura 14, através do desenho esquemático, podem ser vistos os vários estágios de deformação de um corpo de prova em um ensaio de tração, onde estão evidentes na curva do gráfico os limites de escoamento superior e inferior.

Figura 14 – Curva de Tensão-Deformação em tração para polímero semicristalino.



Fonte: Callister, 2008.

2.11.2 Deformação Plástica e Fratura

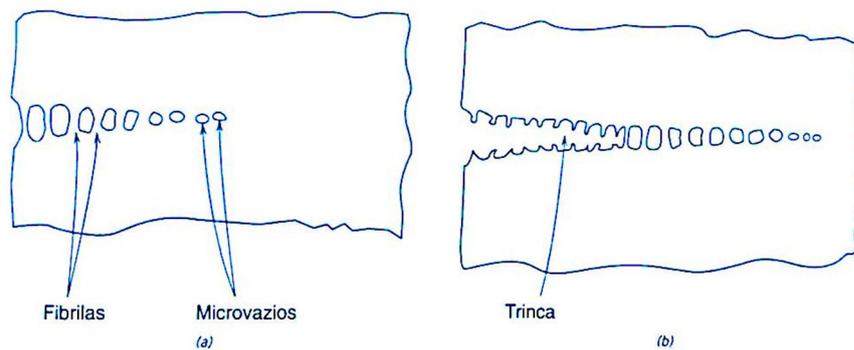
Garcia (2000) descreve que geralmente quando ocorre um mecanismo de escoamento no qual os planos atômicos mais densamente compactados se movem uns sobre os outros, surgirá a deformação plástica. As fraturas são descritas como sendo a separação, ou a fragmentação, de um corpo sólido em duas ou mais partes,

sob a ação de uma tensão e pode ser considerada como sendo constituída da parte de nucleação da trinca e de propagação da trinca. A classificação de uma fratura pode ser dada como Frágil (rápida propagação de trinca sem deformação macroscópica aparente) ou Dúctil (verifica-se a deformação plástica antes e durante a propagação da trinca).

Segundo Callister (2008) para os polímeros termoplásticos, é possível tanto a fratura dúctil, quanto a frágil, sendo muitos desses materiais capazes de apresentar uma transição chamada dúctil-frágil.

Conforme os desenhos esquemáticos vistos na figura 15, ilustrado por Callister (2008), vemos na imagem (a) um fibrilamento onde são mostrados os microvazios e as fibrilas que unem as faces da trinca, e na imagem (b) um fibrilamento seguido pela formação de uma trinca.

Figura 15 – Fibrilamento, microvazios, fibrilas e formação de uma trinca.



Fonte: Callister (2008).

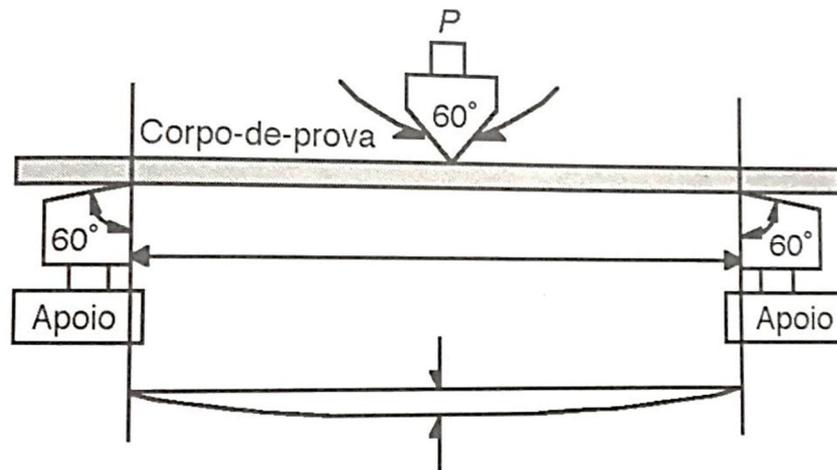
2.11.3 Ensaio de Flexão

Garcia (2000) descreve que os Ensaio de Flexão consistem na aplicação de carga crescente no centro de um corpo-de-prova específico, estando este apoiado em dois pontos. A carga aplicada é originada em um valor inicial igual a zero e aumenta de forma lenta e gradual até a ruptura do corpo de prova. A resposta do ensaio é o valor da carga aplicada pelo deslocamento do ponto central. Conforme figura 16, o ensaio de flexão em três pontos consiste na utilização de barra com dois apoios, com aplicação da carga no centro da distancia entre os apoios.

Durante o ensaio, os esforços normais e tangenciais na seção transversal do corpo, conforme descreve Garcia (2000), geram um complicado estado de tensões em seu interior. Para esses casos, é possível admitir algumas hipóteses como:

- Corpo de prova retilíneo inicialmente;
- Material homogêneo e isotrópico;
- Material elástico;
- Seções planas permanecem planas;
- Existência de uma linha neutra no interior do corpo de prova que não sofre tensão normal;
- Distribuição linear da tensão normal na seção transversal.

Figura 16 – Ensaio de flexão em três pontos.



Fonte: Garcia, 2000.

As principais informações, de acordo com Garcia (2000), obtidas em um ensaio de flexão são:

- Módulo de Ruptura: na flexão ou resistência ao dobramento, é o valor máximo da tensão de tração, ou compressão, nas fibras externas do corpo de prova.
- Módulo de Elasticidade: a medida da flecha, que é utilizada para materiais dúcteis e o corpo-de-prova, deforma-se continuamente no ensaio de flexão sem se romper. Esse aspecto não permite a determinação de nenhuma propriedade de interesse prático.
- Módulo de Resiliência: é determinado em função da tensão aplicada e das dimensões do corpo-de-prova dentro do regime elástico.
- Módulo de Tenacidade: é dado pela área do gráfico tensão-flecha.

2.11.4 Fatores que influenciam as propriedades mecânicas dos polímeros

Callister (2008) diz que vários fatores podem influenciar as características mecânicas dos materiais poliméricos. Dentre elas pode-se destacar as seguintes:

Peso molecular: para alguns polímeros o limite de resistência à tração aumenta com o aumento do peso molecular.

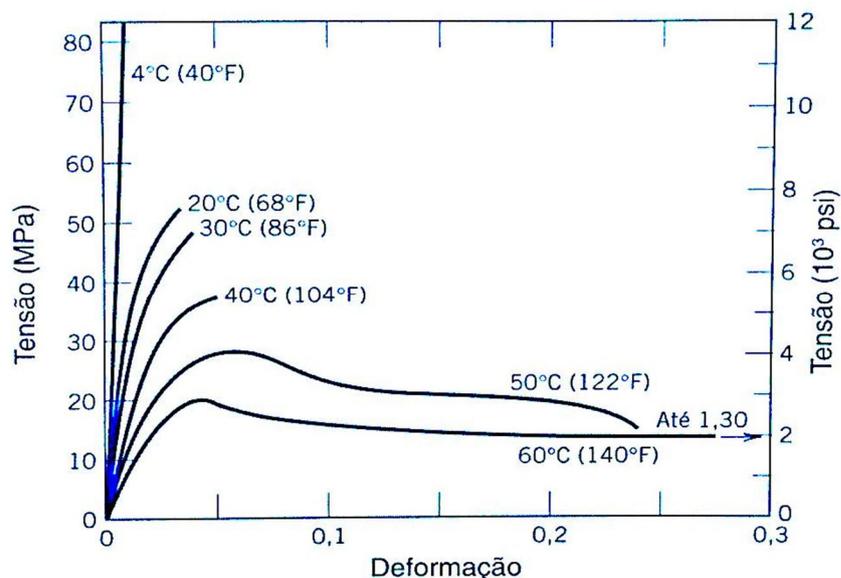
Grau de cristalinidade: este fator afeta a extensão das ligações secundárias intermoleculares. O módulo de tração dos polímeros semicristalinos aumenta significativamente com o grau de cristalinidade e isso também aumenta a sua resistência, o que faz com que o material tende a se tornar mais frágil.

Pré-deformação por estiramento: para melhorar a resistência mecânica e o módulo de tração, deforma-se plasticamente o polímero em tração e isso corresponde ao processo de extensão da estrição.

Tratamento térmico: é possível aumentar a porcentagem de cristalinidade, o tamanho e a perfeição dos cristaltos. O aumento de temperatura do recozimento leva aos efeitos de aumento de módulo de tração, do limite de escoamento e redução da ductilidade.

Na figura 17 a influência da temperatura sobre as características tensão-deformação são demonstradas.

Figura 17 – Influência da temperatura sobre as características tensão-deformação.



Fonte: Callister, 2008.

2.12 Descrição dos materiais de referência existentes no mercado

Para os materiais de referência existentes no mercado, para a confecção de órteses, foram encontradas as seguintes informações, utilizadas como referência a partir de Lindemayer (2004):

EZEFORM (Marca *Sammons Preston*): a descrição segundo Breger-Lee (1991), é de ser um plástico de baixa temperatura e amolecendo em água quente em 70°C a 80°C. Possui alta resistência em relação aos demais, mas tem pouca elasticidade e capacidade de alongamento. Este polímero permite boa moldagem e aderência, sem assimilar digitais. É fácil de trabalhar as bordas, o que confere um bom acabamento e boa aparência nas órteses. É mais utilizado em órteses de posicionamento para os pacientes com espasticidade.

AQUAPLAST (Marca *Sammons Preston*): a descrição segundo Breger-Lee (1991) é de ser um material plástico emborrachado, que amolece em temperatura de 70 a 80°C, possui boa resistência, mas pode absorver as digitais durante a moldagem, possui muita elasticidade e alongamento, o que permite boa memória. Há características de boa capacidade para moldagem e aderência. O aspecto negativo é que precisa ser trabalhado nas bordas, para dar acabamento e requer experiência para a confecção do material.

NCM CLINIC (Marca *North Coast*): Breger-Lee (1991) descreve como um material plástico com sua temperatura de moldagem em 70 a 75 °C. Apresenta boa resistência, alongamento, aderência e boa memória. Permite ser bem moldados aos contornos, o que facilita o trabalho. Como aspecto negativo, retém as digitais durante a manufatura e possui baixa elasticidade.

ÔMEGA tm (Marca *North Coast*): este material não foi escrito por Breger-Lee (1991). Não foram encontradas informações adicionais sobre o produto Ômega tm na literatura.

NCM PREFERRED 3/32" (Marca *North Coast*): a descrição, segundo Breger-Lee (1991), é de ser um material plástico e emborrachado, com temperatura de amolecimento de 70 a 75°C, é bastante resistente e versátil, mas possui pouca elasticidade e baixo alongamento o que leva a uma baixa memória, fazendo com

que o produto possa se deformar. É bom para moldar, possui boa aderência e não deixa as digitais. O aspecto negativo é que ser forrado, pois com a transpiração pode macerar a pele do paciente.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Blendas de Copolímero PP e de PEBD Reciclado

Ambas as blendas, tanto do Copolímero PP, quanto do PEBD Reciclado foram obtidas na fábrica de produtos plásticos ValePlast, localizada no Município de Barra Mansa – RJ e cedidas sem custo para a elaboração dos ensaios nos laboratórios do UNIFOA.

3.1.1 Copolímero PP

O Copolímero PP (figura 18) que foi usado nesse trabalho foi o Aramco PP CP55N, obtido em grãos.

Figura 18 – Grãos de COPOLÍMERO PP.



Fonte: o autor, 2017.

3.1.2 PEBD Reciclado

O PEBD (figura 19) utilizado neste trabalho foi obtido a partir de mistura de várias sucatas de PEBD, reprocessadas e transformadas em grãos. Não é o PEBD puro, obtido a partir de processo químico industrial específico. Trata-se um material que já foi conformado em processos anteriores e que compunham embalagens e diversos outros produtos, que foram descartados e reaproveitados. Esse processo de reaproveitamento consistiu em reciclar o PEBD, através coleta, separação, lavagem, trituração em flocos, reaquecimento e extrusão para serem transformados em grãos. O material é de origem diversa, sendo parte dele refugo da própria linha de produção da fábrica. Em síntese, trata-se de um PEBD que já sofreu aquecimento e reaquecimento.

Figura 19 – Grãos de PEBD



Fonte: o autor, 2017.

3.2. Preparação das Amostras para testes com os Materiais Propostos

3.2.1 Pesagem

A pesagem das amostras foi feita em Balança de Precisão, Fabricante Marte, Modelo AY 220, com capacidade máxima de 220 gramas, instalada no Laboratório de Processamento de Materiais (prédio 12) do UniFOA, seguindo procedimentos normais de aferição, com realização de tara da balança com o recipiente de pesagem vazio no interior. As separações por pesagem foram obtidas e estão demonstradas conforme tabela 2 a seguir:

Tabela 2 – Pesagem em gramas das amostras de Polímeros.

COPOLÍMERO PP		PEBD Reciclado		Quantidade de Corpos de Prova
100%	300,0103	0%	-	6 unidades
25%	75,0041	75%	225,0015	6 unidades
50%	150,0126	50%	150,019	6 unidades
75%	225,0008	25%	75,0067	6 unidades
0%	-	100%	300,0125	6 unidades

Fonte: o autor, 2017.

As misturas em porcentagem para preparação dos Corpos de Prova foram obtidas nas proporções acima e realizadas somente após a pesagem.

Devido à capacidade máxima da balança, ser de 220 gramas, a obtenção das amostras foi realizada de forma fracionada e somada até atingir a quantidade estipulada (300 gramas de cada porcentagem de amostra), para a preparação dos corpos de provas na injetora.

3.2.2 Misturas das Amostras

Após a pesagem e obtenção das proporções, os materiais ficaram com as misturas conforme tabela 3.

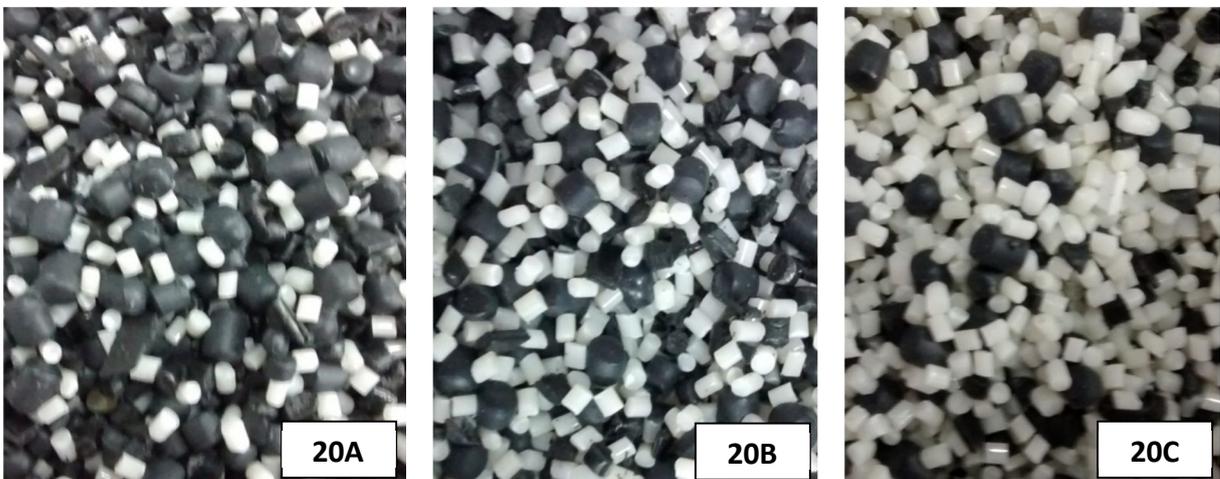
Tabela 3 – Proporções das amostras de Polímeros.

PP-COPOLÍMERO	PEBD
100%	0%
25%	75%
50%	50%
75%	25%
0%	100%

Fonte: o autor, 2017.

As blendas de Copolímero PP e de PEBD Reciclado ficaram com as características conforme visto na figura 20 (20A, 20B e 20C). As amostras com pureza de 100% de Copolímero PP e 100% de PEBD Reciclado (figuras 18 e 19) foram utilizadas para controle e referência das análises obtidas nos testes de Tração e Flexão, em comparação ao material polimérico obtido com as misturas.

Figura 20 – Misturas de Grãos: 20A (25% Copolímero PP e 75% PEBD Reciclado), 20B (50% Copolímero PP e 50% PEBD Reciclado) e 20C (75% Copolímero PP e 25% PEBD Reciclado).



Fonte: o autor (2017).

3.2.3 Homogeneização das Amostras

O processo inicial seria realizado utilizando uma extrusora para polímeros, mas os laboratórios da UniFOA não dispõem de uma. Sendo assim, como alternativa para o preparo dos corpos de prova, que foram utilizados nos ensaios, as amostras, já devidamente pesadas e misturadas foram levadas para o

Homogeneizador de Plásticos MH (figura 21), instalado no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12). Este equipamento fez a homogeneização do material através de um processo termocinético, onde as amostras foram aquecidas e misturadas no interior do compartimento.

Figura 21 – Homogeneizador de Plásticos MH.



Fonte: o autor, 2017.

O Homogeneizador de Plásticos MH foi todo limpo e verificado cuidadosamente para ver se não havia resíduos de outros materiais homogeneizados anteriormente.

Após a limpeza e nova verificação, o primeiro material escolhido para a partida dos processos foi o Copolímero PP puro e sem misturas. Essa amostra foi escolhida em primeiro para sofrer homogeneização, dado a sua característica coloração branca, o que permitiu verificar a possibilidade de contaminação da amostra após a homogeneização.

O controle do processo de homogeneização através deste tipo de homogeneizador é feito de forma subjetiva e através de um painel (figura 22), onde não é possível controlar com precisão as velocidades de giro do eixo principal e o tempo de execução do processo é verificado manualmente em cronômetro, tampou é possível verificar a temperatura de amolecimento do material no interior da câmara de homogeneização.

Figura 22: Painel de Controle do Homogeneizador de Plásticos MH.



Fonte: o autor, 2017.

O tempo de Homogeneização variou de acordo com cada tipo de proporção de mistura das amostras, sendo interrompido algumas vezes para que fosse verificada a situação de amolecimento do polímero no interior da câmara. A troca de velocidades (entre a 1ª velocidade e a 2ª velocidade) é realizada a partir do acionamento do botão neutro e apertando logo em seguida o botão para a 2ª velocidade. Esta troca de velocidade segue, segundo as características de operação do equipamento, um critério observado no aumento da amperagem do equipamento, visualizada com a letra “A” no mostrador do ponteiro, no painel do equipamento. Quando esta amperagem aumenta para 40 a 50 Amperes, sendo percebida também a alteração do som emitido pelo funcionamento do equipamento (diminui muito o ruído emitido), percebe-se que está na hora da troca de velocidades.

A Homogeneização do Copolímero PP pode ser vista na figura 23 e o processo é análogo para todas as outras proporções de misturas utilizadas. As amostras (tanto puras em 100%, quanto nas misturas intermediárias de 25% - 75%, 50% - 50% e 75% - 25%) precisaram passar pelo processo de homogeneização por duas vezes cada uma, com cuidado para evitar a queima das amostras. Este cuidado foi adotado, pois na primeira tentativa o material não se homogeneizou de imediato e queimou o Copolímero PP, sendo necessário o descarte e preparação de nova amostra (figura 24). Embora todo um cuidado com as amostras tenha que ser tomado, existe uma característica de subjetividade na operação do equipamento

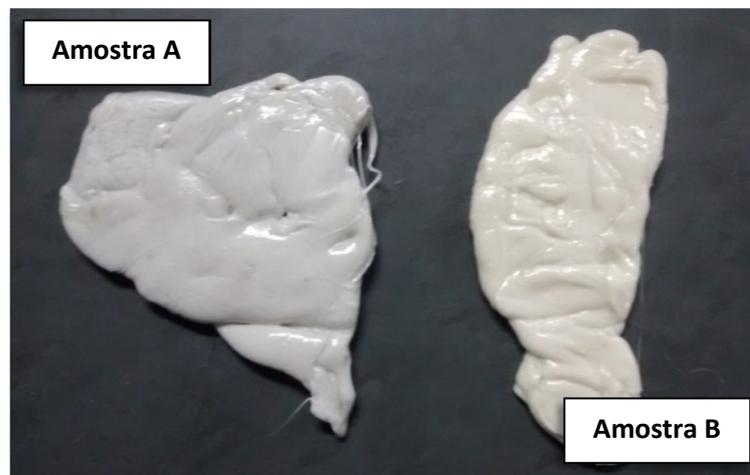
Homogeneizador de Plásticos MH, pois itens como temperatura da amostra durante o procedimento e velocidade do equipamento não são possíveis de serem controladas, por não existirem marcadores e nem equipamentos de aferição incorporados ao painel de funcionamento. Por isso a descrição anterior de verificação visual e auditiva no funcionamento do homogeneizador durante o processo.

Figura 23 – 100% Copolímero PP: Polímero homogeneizado após processo realizado com alternância de velocidades.



Fonte: o autor, 2017.

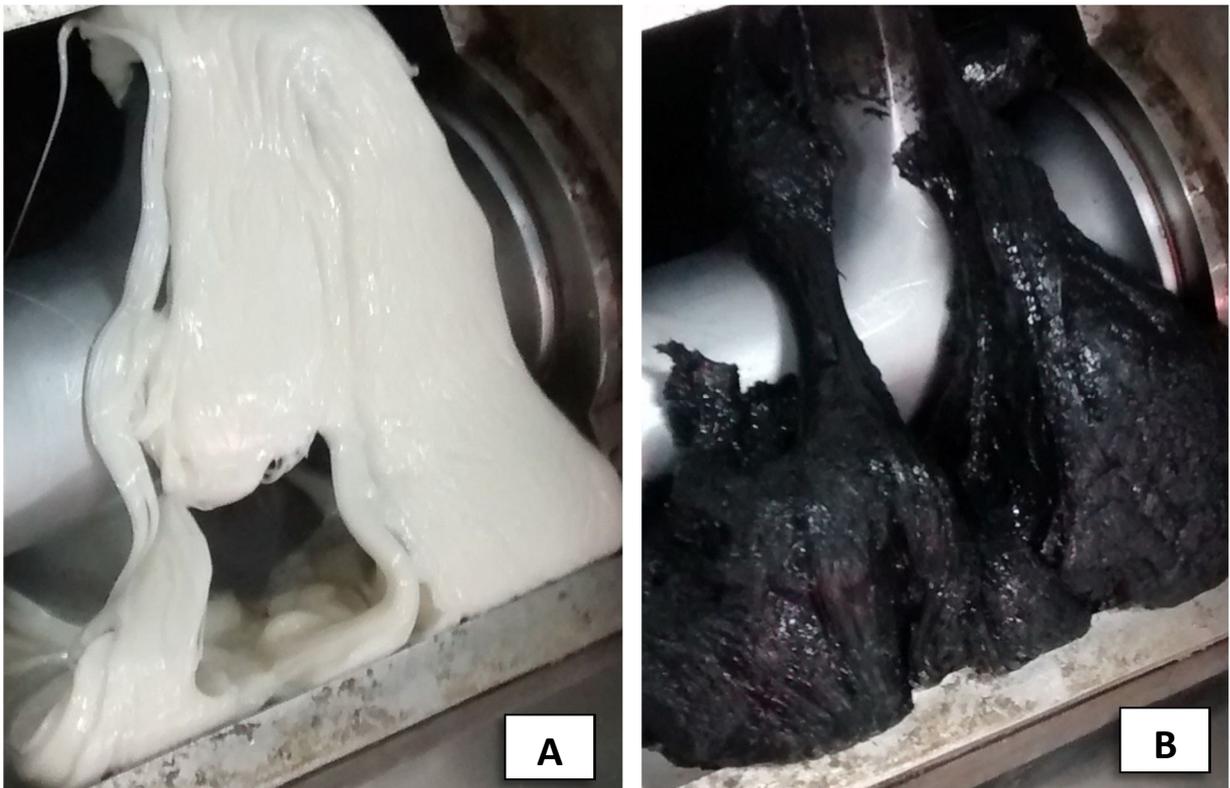
Figura 24 – Amostras homogeneizadas de COPOLÍMERO PP: Amostra A – Descartada pois foi queimada no processo (coloração mais escurecida). Amostra B – Homogeneizada sem queima (coloração semelhante a de antes do processo).



Fonte: o autor, 2017.

Os materiais puros (Copolímero PP e PEBD Reciclado) apresentaram diferenças no processo de homogeneização. Essa diferenciação entre as amostras pode ser observada na figura 25, onde o Copolímero PP (A) apresentou aspecto mais viscoso e de característica mais homogênea e o PEBD Reciclado (B), material menos homogêneo, aderiu mais ao equipamento (mais grudento) e com característica menos viscosa.

Figura 25: Amostras Homogeneizadas: (A) – Copolímero PP e (B) – PEBD.



Fonte: o autor, 2017.

A coloração das amostras apresentaram poucas diferenciações. Pode ser observado a seguir, que o Copolímero PP 100% e o PEBD reciclado 100% mantiveram suas cores características. As demais misturas, mesmo a maior concentração de cor branca que foi a 75% de Copolímero PP e apenas 25% de PEBD Reciclado adquiriram coloração escura, análoga a do PEBD Reciclado. As características de coloração obtidas após processo de homogeneização podem ser vistas conforme demonstrado na figura 26.

Figura 26 – Homogeneização das amostras (26A – 100% COPOLÍMERO PP homogeneizado: sem alteração a coloração. 26B – 25% COPOLÍMERO PP e 75% PEBD homogeneizados: cor escura predominante do PEBD. 26C – 50% COPOLÍMERO PP e 50% PEBD homogeneizados: cor escura predominante do PEBD. 26D – 75% COPOLÍMERO PP e 25% PEBD homogeneizados: cor escura predominante do PEBD. 26E – 100% PEBD homogeneizado: sem alteração a coloração.).



Fonte: o autor, 2017.

3.2.4 Moagem das Amostras

Para a moagem das amostras, processo necessário para o material seja fragmentado em pedaços menores e colocado na injetora (máquina que injeta o polímero nos moldes para fazer os corpos de provas), foi utilizado o Moinho de facas para Plástico PLASTIMAX com 3 facas de corte (figura 27), instalado no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12).

Figura 27 – Moinho de facas para Plásticos – PLASTIMAX (5CV – 3 facas de corte).



Fonte: o autor, 2017.

Para o início da moagem, foi ligado o moinho e deixado funcionar sem nada em seu interior por um período de 2 minutos. Esse procedimento foi realizado três vezes, com intervalo de 1 minuto, para que qualquer partícula, deixada pela moagem de algum material anterior, pudesse se desprender com o funcionamento das facas de corte e vibração do equipamento, caindo no reservatório de coleta de material. Após esse procedimento, com o moinho desligado, foi limpo o seu interior com uma trincha Atlas de 3 polegadas, sendo colocado novamente para funcionar por mais 30 segundos. Em seguida, o reservatório de coleta foi removido e limpo, sendo o seu conteúdo descartado.

Novamente, o primeiro material escolhido para ser moído foi o Copolímero PP 100% puro, devido a sua coloração branca possibilitar verificação de indício de contaminação, caso ainda houvesse partículas de outro material que pudesse se misturar na amostra. O material foi colocado para moagem e verificado se estava sem contaminação. Em seguida foi adicionado o restante do Copolímero PP 100% puro para ser moído. Ao término do processo, ao retirar o reservatório, observou-se a contaminação do material por partículas, como visto na figura 28 (possivelmente estavam presas entre as facas de corte e durante a vibração da moagem se soltaram).

Figura 28 – Copolímero PP 100% puro (coloração branca), contaminado no moinho de plásticos por material particulado (escuro).



Fonte: o autor, 2017.

Após constatação da contaminação a amostra inteira foi descartada, por segurança, já que a quantidade de contaminação (pó e flocos) era bastante expressiva e fatalmente comprometeria os resultados das etapas seguintes, quando a amostra fosse transformada em corpos de prova e levada para os ensaios de Tração e Flexão. Nova amostra foi pesada com Copolímero PP 100% (300.0081 gramas) e submetida ao Homogeneizador de Plásticos MH. Enquanto a amostra esfriava para ser levada à moagem, o moinho foi desmontado, limpo por dentro e o espaço entre as facas de corte foi limpo e inspecionado visualmente. Após fechamento da máquina e colocação do reservatório limpo, foi utilizada uma amostra de 50.0033 gramas (preparada especificamente para ser passada no moinho antes e testar a contaminação) de Copolímero PP 100%

puro; esse material saiu limpo e sem sinal aparente de contaminação (figura 29), sendo descartado.

Figura 29 – Teste de Contaminação com o COPOLÍMERO PP 100%. Amostra de 50.0033 gramas utilizada não apresentou contaminação.



Fonte: o autor, 2017.

Conforme figura 30, as novas amostras de Copolímero PP 100% puro foram colocadas no moinho (após novo procedimento de limpeza do equipamento e do reservatório) e o processo foi realizado com êxito, obtendo material pronto para ser levado à injetora.

Figura 30 – Copolímero PP 100% puro, moído e aparentemente sem contaminação por material particulado desconhecido.



Fonte: o autor, 2017.

Dando sequência no processo, as amostras foram moídas na seguinte ordem:

75% Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado
50% Copolímero PP e 50% de PEBD Reciclado
25% Copolímero PP e 75% de PEBD Reciclado
100% de PEBD Reciclado

Esse cuidado de partir da maior concentração de Copolímero PP para a menor, até atingir 100% de PEBD Reciclado, se deu por precaução acerca da contaminação das proporções de amostras.

3.2.5 Injeção dos CPs – Corpos de Provas

A injeção dos corpos de provas consistiu em um processo onde o material obtido foi aquecido dentro da injetora até atingir o ponto de fusão do material, onde ele assumiu o estado em que se apresentou viscoso o suficiente para ser injetado através de um cilindro de pressão. O material foi injetado dentro de moldes específicos para os ensaios de Tração e de Flexão, previamente posicionados. Antes de cada etapa de produção dos corpos de provas, foi passado pela máquina um polímero de limpeza, produzindo corpos de provas contaminados e que foram descartados. No total foram produzidos 24 corpos de provas dos materiais poliméricos e suas misturas proporcionais, sendo 12 para os ensaios de Tração e 12 para os ensaios de Flexão. Para a injeção dos corpos de provas, foi utilizada a Injetora de Polímeros (figura 31), Fabricante RAY-NAN, Modelo TSMP, instalada no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12). A temperatura de trabalho da injetora, para todas as amostras, foi ajustada inicialmente em 230°C, com aumento gradual de 20°C por etapa até atingir a temperatura de 300°C ($\pm 10^\circ\text{C}$), onde as amostras atingiram a viscosidade necessária para a injeção nos moldes dos corpos de provas. As amostras injetadas e preparadas como corpos de provas foram:

- 75% Copolímero PP 25% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 50% Copolímero PP 50% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 25% Copolímero PP 75% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 100% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 100% Copolímero PP – 0 unidades (corpos de prova descartados)

Figura 31 – Injetora de Polímeros para Corpos de Prova.



Fonte: o autor, 2017.

As amostras de 100% Copolímero PP foram descartadas, pois a temperatura de fusão da amostra, que possibilitaria a injeção, ultrapassou o limite de segurança e de trabalho da injetora. Durante as tentativas, o equipamento apresentou funcionamento errático e por várias vezes soltou as mangueiras do sistema de pressão. Os corpos de provas do Copolímero PP 100% que foram injetados apresentaram falhas de injeção (bolhas e lacunas sem material), ou tornaram-se quebradiços e romperam-se na retirada dos moldes.

Após injeção dos corpos de provas, os mesmos foram submetidos aos ensaios de Tração e Flexão. Cada uma das amostras foi testada com três corpos de prova para cada ensaio, totalizando 24 corpos de provas.

3.2.6 Ensaios dos Materiais Propostos

Os testes realizados foram os ensaios destrutivos de propriedades mecânicas (Tração e Flexão) com as amostras:

- 75% Copolímero PP 25% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 50% Copolímero PP 50% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 25% Copolímero PP 75% de PEBD Reciclado – 6 unidades
- 100% de PEBD Reciclado – 6 unidades

3.2.7 Aferição de medidas para os ensaios

A área dos corpos de provas foi medida com Micrômetro Digimess (figura 32), com resolução 0,01 e capacidade de 25 mm, obtendo as medidas conforme a seguir:

- CPs de ensaios de flexão: aferição de Largura e Espessura no ponto central.
- CPs de ensaios de tração: aferição de Largura e Espessura em três pontos (central, 3 cm à direita e 3 cm à esquerda).

Após obtenção das medidas e médias, os dados foram inseridos no software da máquina de ensaio EMIC DL-10.000.

Figura 32 – Micrômetro Digimess



Fonte: o autor, 2017.

3.2.8 Ensaio de Tração

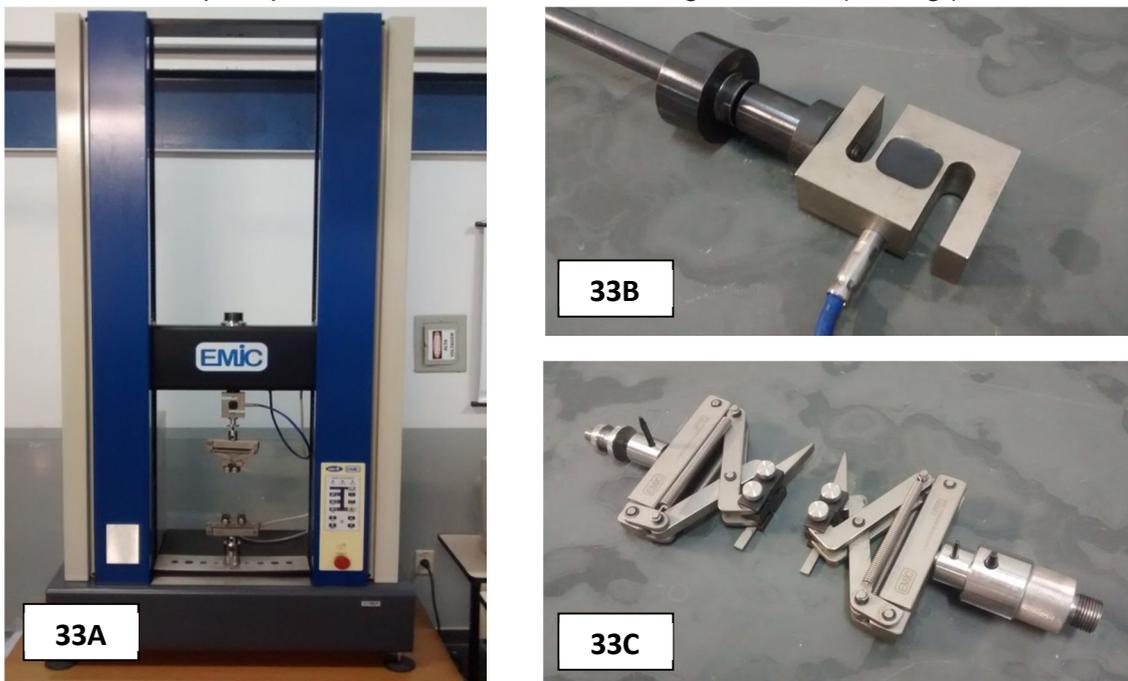
Os ensaios de tração, segundo Garcia (2000), consistem na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico, até sua ruptura. Nesse teste é medida a variação do comprimento como função da carga.

Para os ensaios de tração nos corpos de prova, foi utilizada a máquina EMIC DL-10.000 com capacidade de 100 KN (figura 33A), instalada no Laboratório de Ensaio de Materiais do UniFOA (prédio 12). Configurada para ensaios de tração,

com o conjunto de garras (figura 33B) e célula de carga (figura 33C) d3 5 KN (500 Kgf). A velocidade do ensaio foi de 3 mm por minuto. Foram utilizados 3 corpos de provas de cada proporção de amostra.

Conforme descrito por Garcia (2000), um dos fatores que podem influenciar os testes, gerando erros nas análises, é a temperatura do ambiente e suas condições. O laboratório de ensaios de materiais, onde foram realizados os ensaios das amostras, segundo informações dos técnicos, está dentro das normas e sua temperatura no instante dos ensaios estava 23°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Figura 33A – Máquina de Ensaio EMIC DL-10.000 100 KN. 33B – Conjunto de garras para polímeros. 33C – Célula de Carga de 5 KN (500 Kgf).



Fonte: o autor, 2017.

3.2.9 Ensaio de Flexão

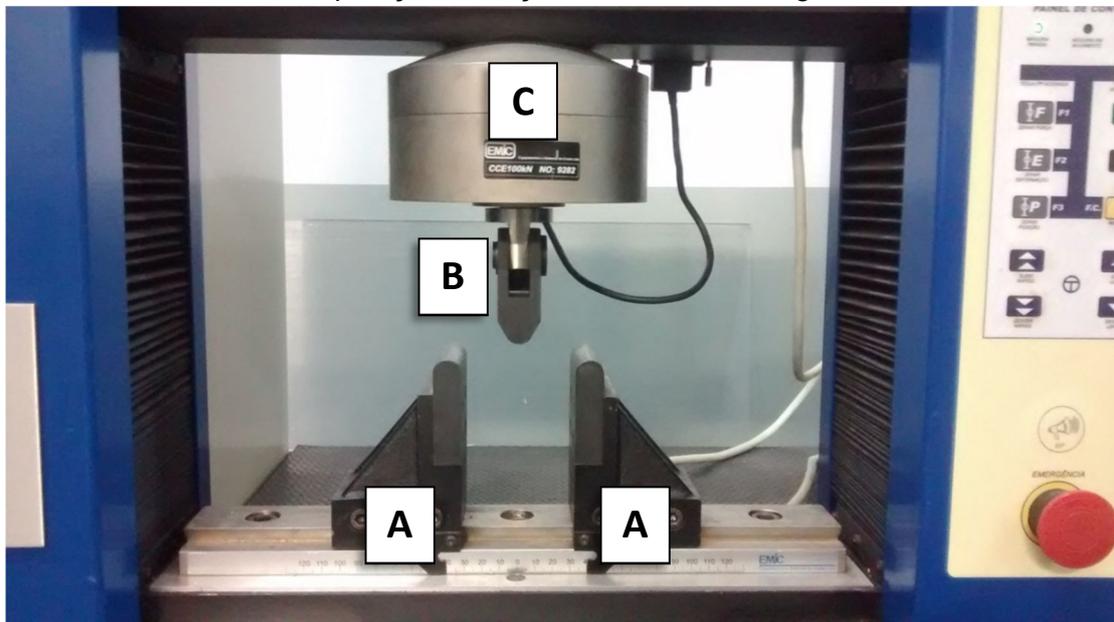
Os ensaios de flexão, segundo Garcia (2000), consistem na aplicação de carga crescente em determinados pontos de uma barra geométrica padronizada. Mede-se o valor de carga *versus* a deformação máxima.

Para os ensaios de flexão nos corpos de prova, foi utilizada a máquina EMIC DL-10.000 com capacidade de 100 kN (figura 34), instalada no Laboratório de

Ensaio de Materiais do UniFOA (prédio 12). Configurada para ensaios de flexão com 3 pontos e cutelo de aplicação de força e célula de carga de 100 kN (10.000 kgf). A velocidade dos ensaios foi de 5 mm por minuto. Foram utilizados 3 CPs de cada proporção de amostra. A distância entre apoios foi de 80.00 mm.

Conforme descrito no ensaio anterior, a temperatura do laboratório, onde foram realizados os ensaios das amostras, está dentro das normas e sua temperatura no instante dos ensaios estava 23°C ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Figura 34 – Máquina de Ensaio EMIC DL-10.000: A – Apoios. B – Cutelo de aplicação de força. C – Célula de Carga de 100 KN.



Fonte: o autor, 2017.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante os Ensaios de Tração e Flexão foram obtidos os dados que possibilitaram verificar o comportamento do material das amostras. Esses dados colheram informações sobre:

- Tensão de Escoamento (MPa);
- Tensão de Força Máxima (MPa);
- Módulo de Elasticidade (MPa);
- Força Máxima (N);
- Tensão Máxima (MPa); e
- Módulo de Elasticidade (MPa).

4.1 Resultados dos Ensaios de Tração

Os CPs dos ensaios de tração, mostrados a seguir na figura 35, apresentaram fraturas do tipo frágil.

Figura 35 – Corpos de Provas dos Ensaios de Tração: 35A – 100% PEBD Reciclado. 35B – 75% PEBD Reciclado e 25% Copolímero PP. 35C – 50% PEBD Reciclado e 50% copolímero PP. 35D – 25% PEBD Reciclado e 75% Copolímero PP.

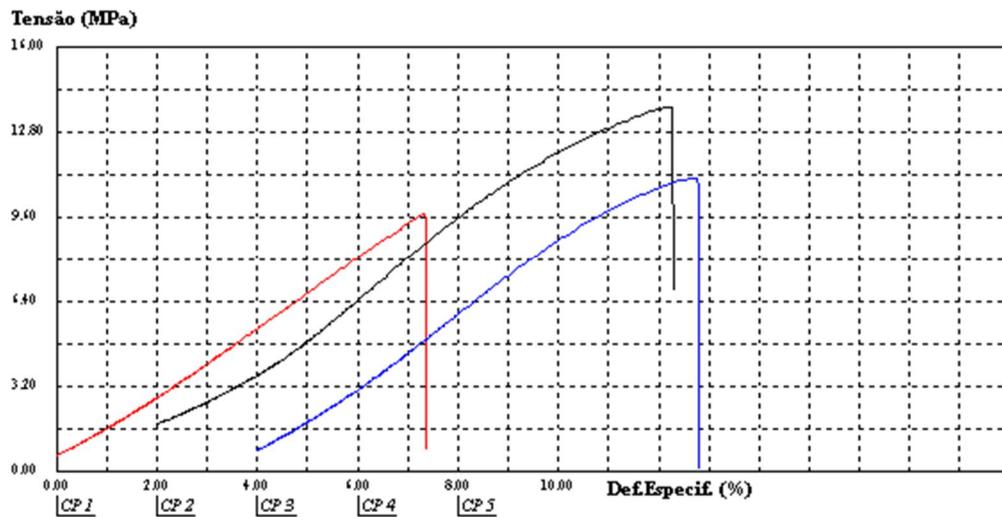


Fonte: o autor, 2017.

Todas as amostras mostraram-se frágeis para os Ensaio de Tração e apresentaram fraturas e em todos os CPs, ocorrendo fraturas completas com a separação do CP em duas partes, em 100% deles.

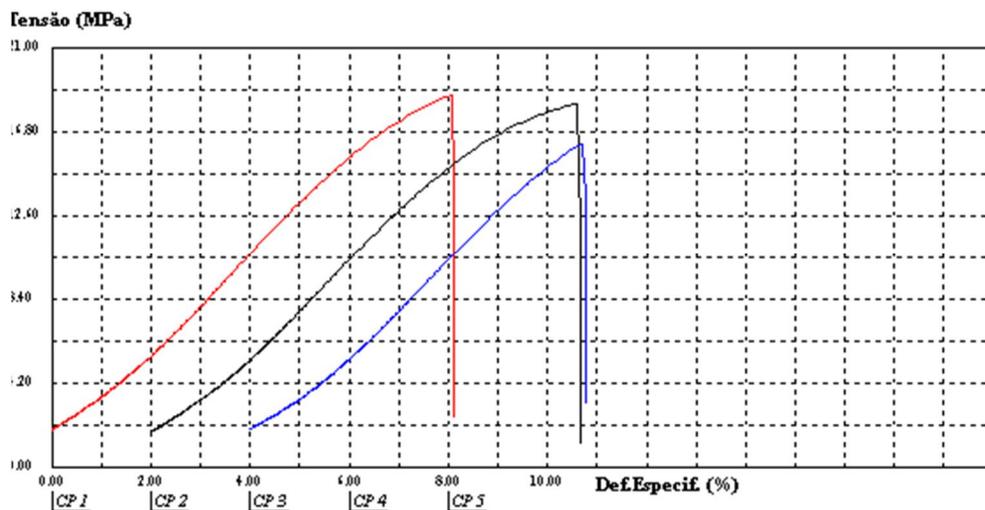
Os gráficos a seguir, com seus respectivos dados, mostram o comportamento de cada amostra durante os Ensaio de Tração.

Gráfico 1 – Ensaio de Tração com Amostra 100% PEBD Reciclado.



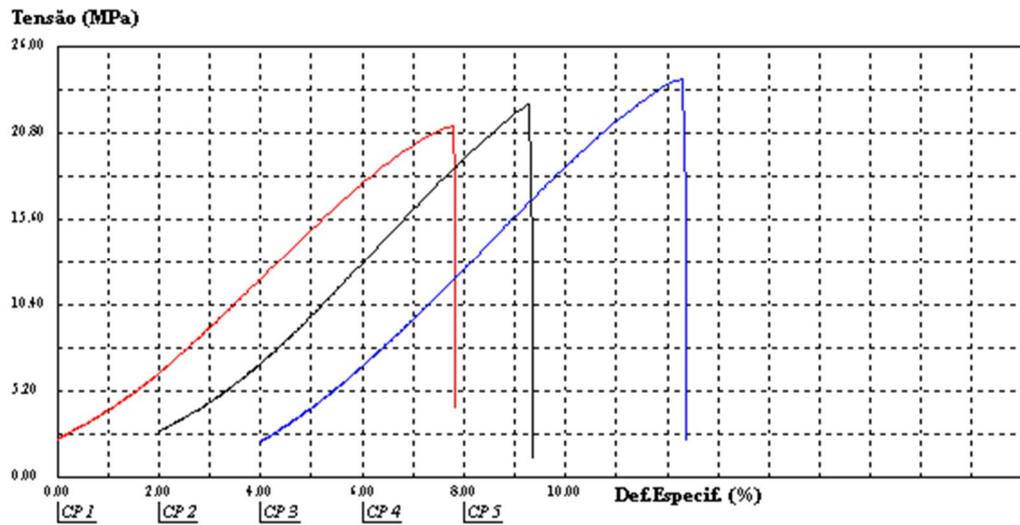
Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Gráfico 2 – Ensaio de Tração com Amostra 75% PEBD Reciclado e 25% Copolímero PP.



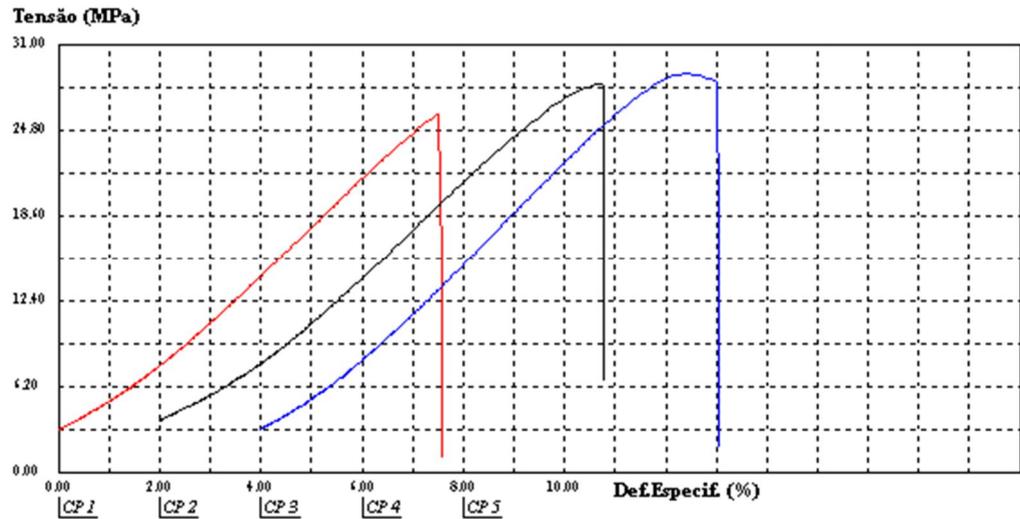
Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Gráfico 3 – Ensaio de Tração com Amostra 50% PEBD Reciclado e 50% Copolímero PP.



Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Gráfico 4 – Ensaio de Tração com Amostra 25% PEBD Reciclado e 75% Copolímero PP.



Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Agrupando as informações obtidas durante a realização dos Ensaio de Tração, conforme tabela 4, foram obtidas as Médias para Tensão de Escoamento, Tensão de Força Máxima e Módulo de Elasticidade.

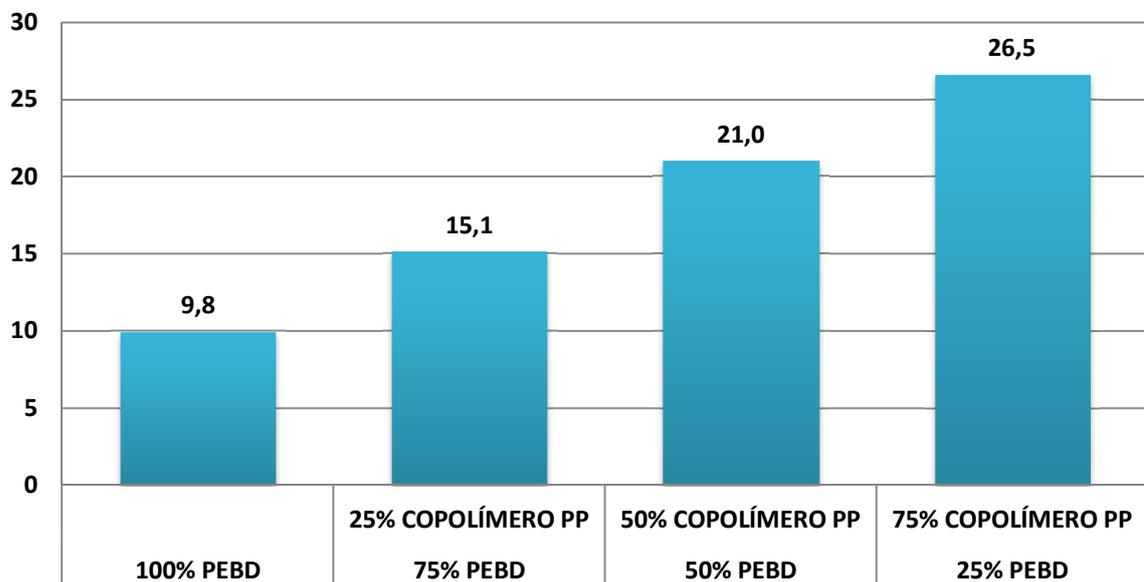
Tabela 4 – Agrupamento de dados dos Ensaio de Tração.

	Amostra 100% PEBD	Amostra 75% PEBD 25% COPOL. PP	Amostra 50% PEBD 50% COPOL. PP	Amostra 25% PEBD 75% COPOL. PP
Tensão de Escoamento (MPa)	9,9 ± 0,8	15,1 ± 0,4	21,0 ± 1,4	26,5 ± 0,8
Tensão de Força Máxima (MPa)	11,5 ± 2,0	17,6 ± 1,3	22,6 ± 1,4	27,6 ± 1,5
Módulo de Elasticidade (Mpa)	147,4 ± 13,2	261,3 ± 4,2	311,6 ± 12,0	359,6 ± 12,9

Fonte: o autor, 2017.

Para os ensaios de tração, foi observado que em todas as análises de tensão de Escoamento, Tensão de Força Máxima e Módulo de Elasticidade, os resultados foram maiores na medida em que se diminuiu a proporção de PEBD Reciclado e aumentou a proporção de Copolímero PP. O Gráfico 5 demonstra que a Tensão de Escoamento da amostra com 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado foi superior às demais amostras, atingindo 26,5 MPa.

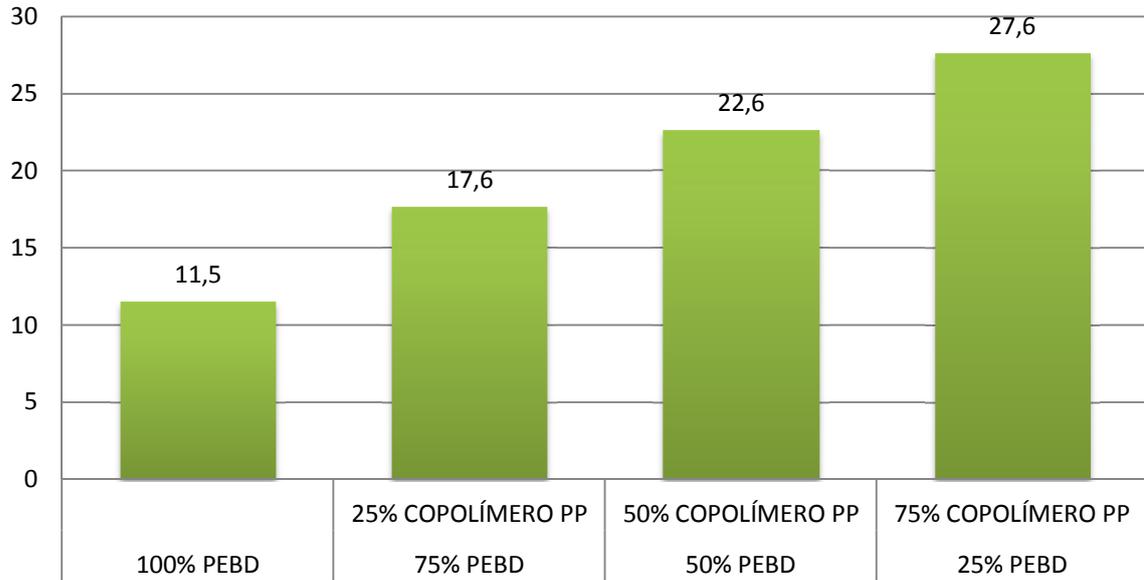
Gráfico 5 – Tensão de Escoamento (MPa)



Fonte: o autor, 2017.

No gráfico 6, onde estão demonstradas as Tensões de Força Máxima, novamente a amostra com 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado foi superior às demais amostras, atingindo 27,6 MPa.

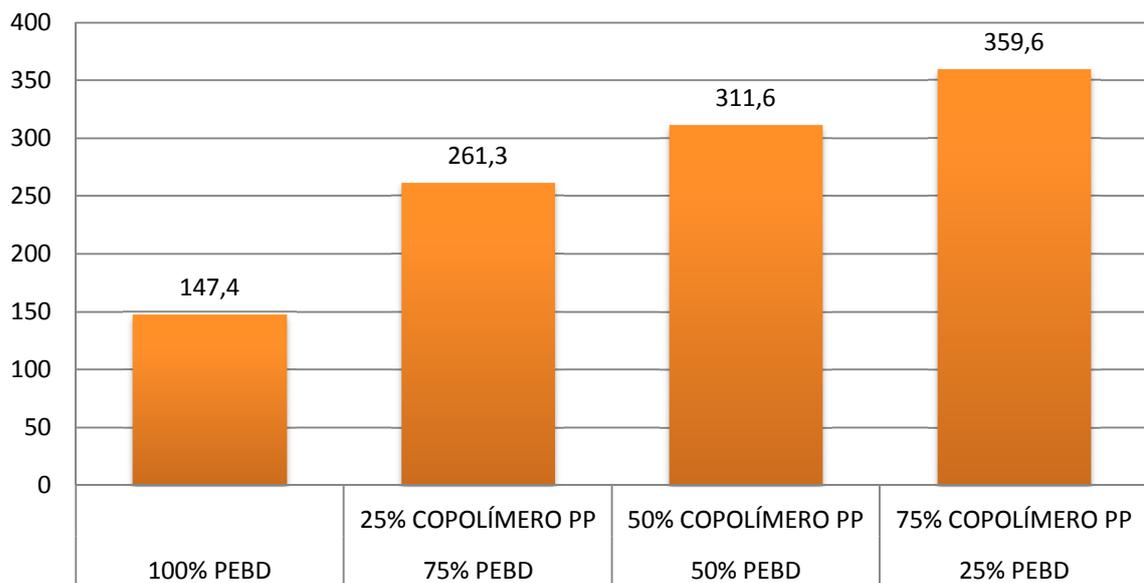
Gráfico 6 – Tensão de Força Máxima (MPa)



Fonte: o autor, 2017.

O Módulo de Elasticidade, demonstrado no gráfico 7, obteve maior resultado, mais uma vez, com a amostra de proporção 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado, atingindo 359,6 MPa. Segundo Ashby (1988) e Anderson (1991) in Garcia (2000), o Módulo de Elasticidade para PEBD é de 200 (MPa). Isso aponta que, com exceção da amostra de 100% PEBD reciclado, as demais amostras estão compatíveis.

Gráfico 7 – Módulo de Elasticidade (MPa)



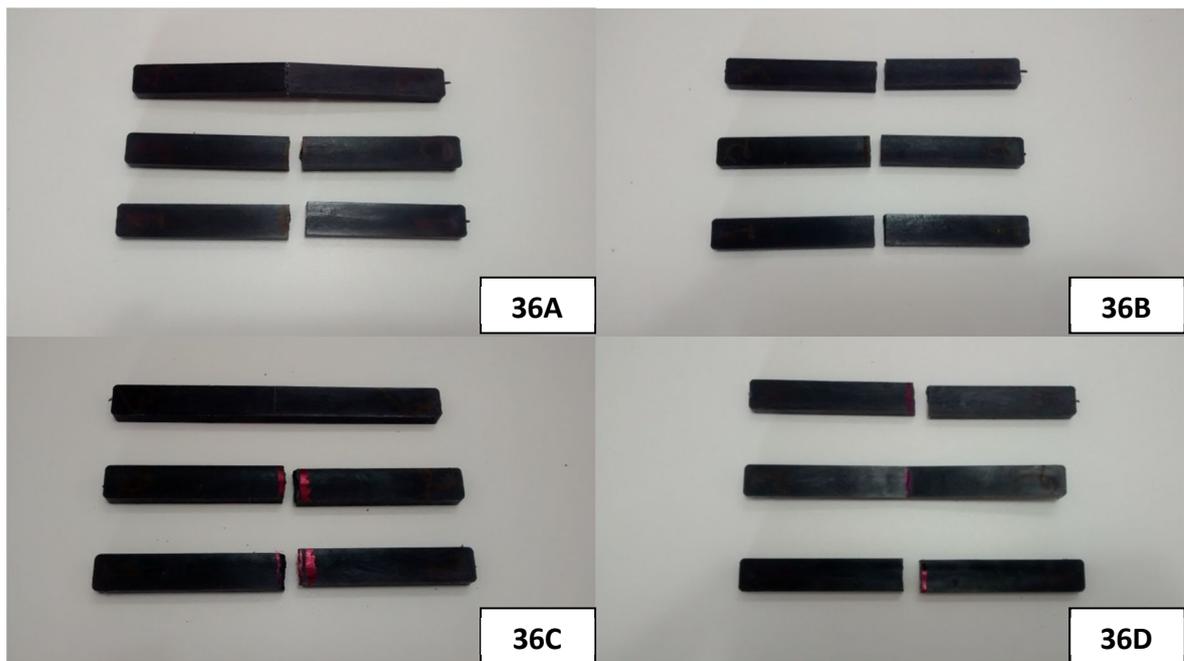
Fonte: o autor, 2017.

Nas análises dos ensaios de tração, constatou-se que as amostras que apresentaram melhor desempenho foram as com proporção de 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado.

4.2 Resultados dos Ensaios de Flexão

Os CPs dos Ensaios de Flexão são mostrados a seguir, na figura 36 e também apresentaram fratura do tipo frágil, conforme verificado nos ensaios de tração realizados.

Figura 36 – Corpos de Provas dos Ensaios de Flexão: 36A – 100% PEBD Reciclado. 36B – 75% PEBD Reciclado e 25% Copolímero PP. 36C – 50% PEBD Reciclado e 50% Copolímero PP. 36D – 25% PEBD Reciclado e 75% Copolímero PP

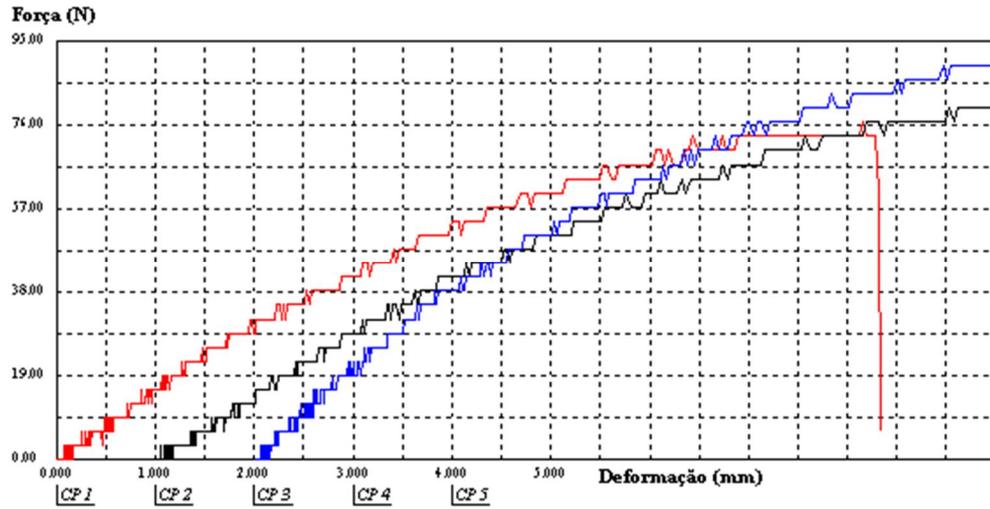


Fonte: o autor, 2017.

Todos os CPs para os Ensaios de Flexão apresentaram baixa resistência e fragilidade. Em todas as amostras ocorreram fraturas completas em ao menos dois CPs, com a separação do CP em duas metades. A amostra 75% PEBD Reciclado e 25% Copolímero PP foi a que apresentou maior fragilidade e 100% de separação em todos os CPs.

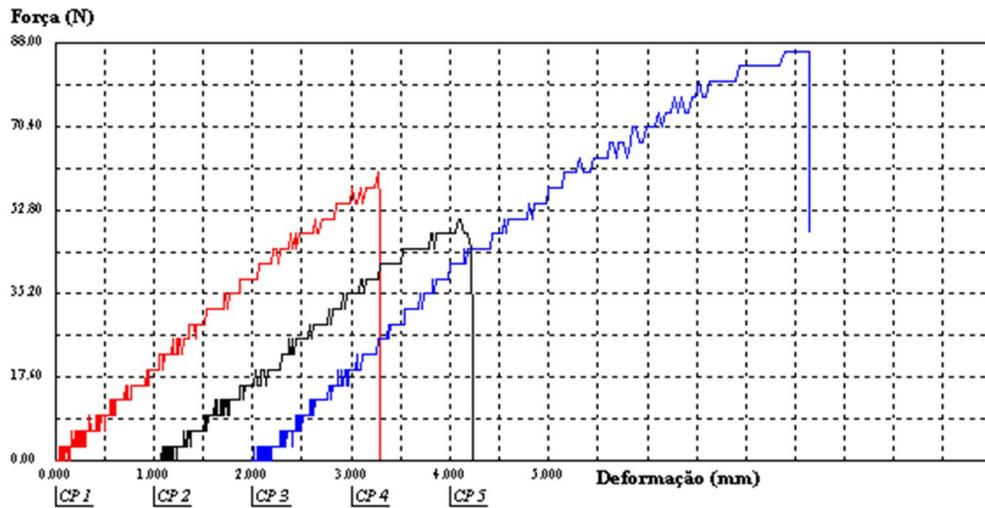
Os gráficos a seguir mostram o comportamento de cada amostra durante os Ensaio de Flexão:

Gráfico 8 – Ensaio de Flexão com Amostra 100% PEBD Reciclado.



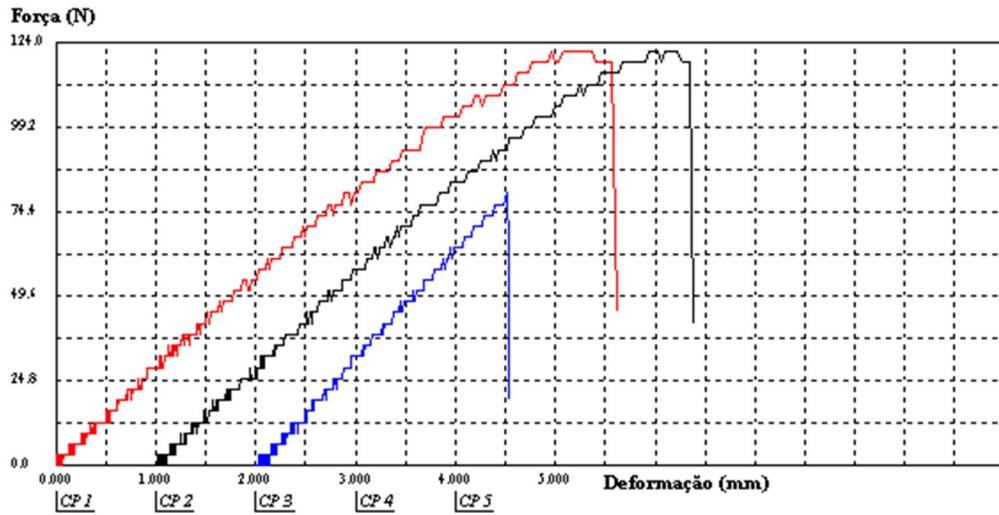
Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Gráfico 9 – Ensaio de Flexão com Amostra 75% PEBD Reciclado e 25% Copolímero PP.



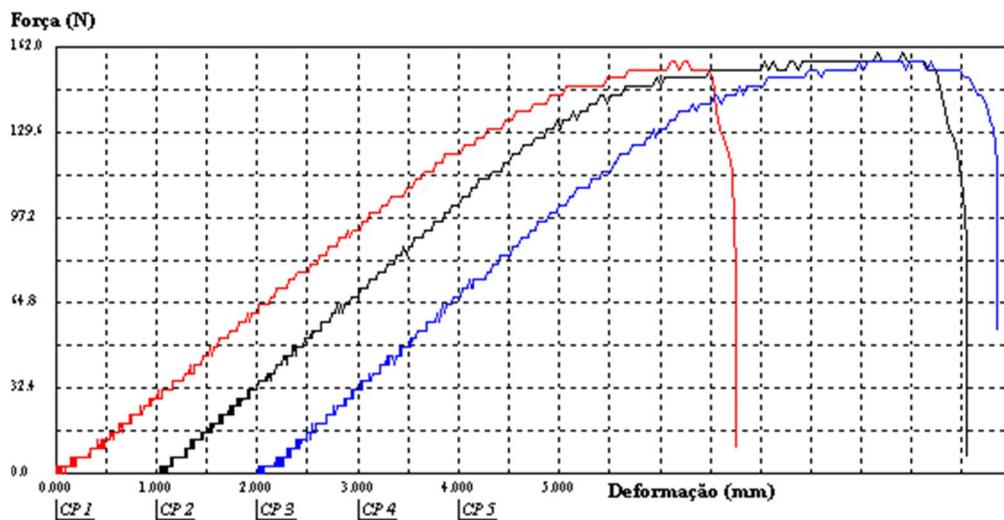
Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Gráfico 10 – Ensaio de Flexão com Amostra 50% PEBD Reciclado e 50% Copolímero PP.



Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Gráfico 11 – Ensaio de Flexão com Amostra 25% PEBD Reciclado e 75% Copolímero PP.



Fonte: EMIC DL – 10.000, 2017.

Agupando as informações obtidas durante a realização dos ensaios de flexão, conforme tabela 5, foram obtidas as Médias, com respectivos desvios padrões. Para os Ensaio de Flexão, foi observado que as análises de tensão de Escoamento, Tensão de Força Máxima e Módulo de Elasticidade, não mantiveram os resultados proporcionais ao aumento da concentração de Copolímero PP na mistura, conforme obtido nos ensaios de tração. Ocorreram variações nos ensaios e suas discussões são baseadas nos gráficos a seguir:

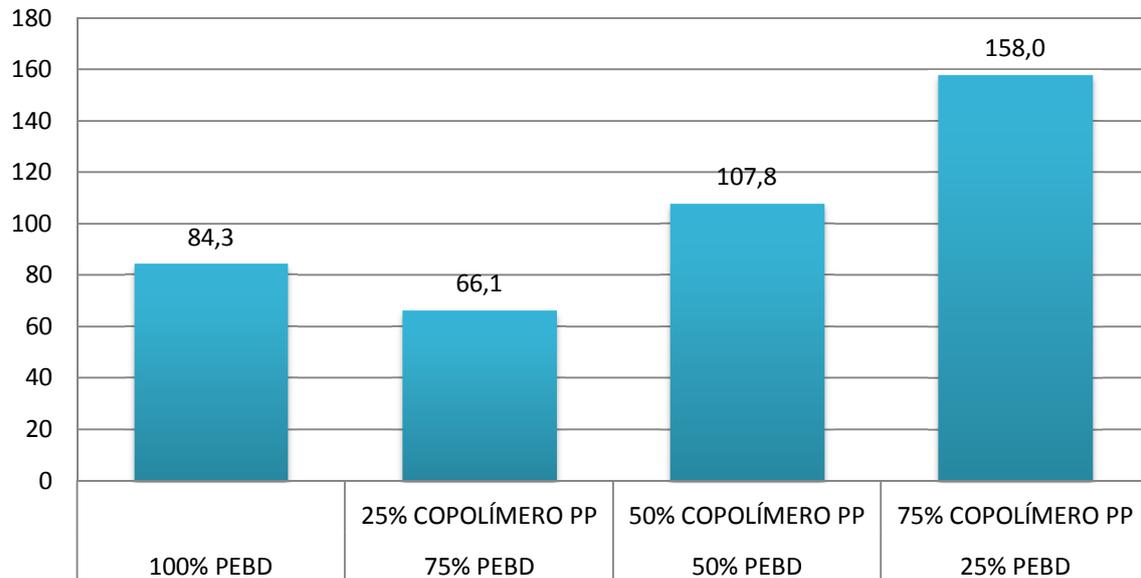
Tabela 5 – Agrupamento de dados dos Ensaio de Flexão

	Amostra 100% PEBD	Amostra 75% PEBD 25% COPOL. PP	Amostra 50% PEBD 50% COPOL. PP	Amostra 25% PEBD 75% COPOL. PP
Força Máxima (N)	84,3 ± 8,0	66,1 ± 18,2	107,8 ± 24,0	158,0 ± 1,8
Tensão Máxima (MPa)	23,1 ± 1,7	18,8 ± 5,2	29,87 ± 7,4	43,2 ± 1,6
Módulo de Elasticidade (Mpa)	893,1 ± 97,8	1029,0 ± 64,8	1495,0 ± 70,6	1655,0 ± 28,5

Fonte: o autor, 2017.

O Gráfico 12 demonstra que a amostra com 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado apresentou maior resistência à Força Máxima e alcançou 158,0 N, enquanto que a amostra com 25% de Copolímero PP e 75% de PEBD Reciclado apresentou menor resistência, com 66,1 N.

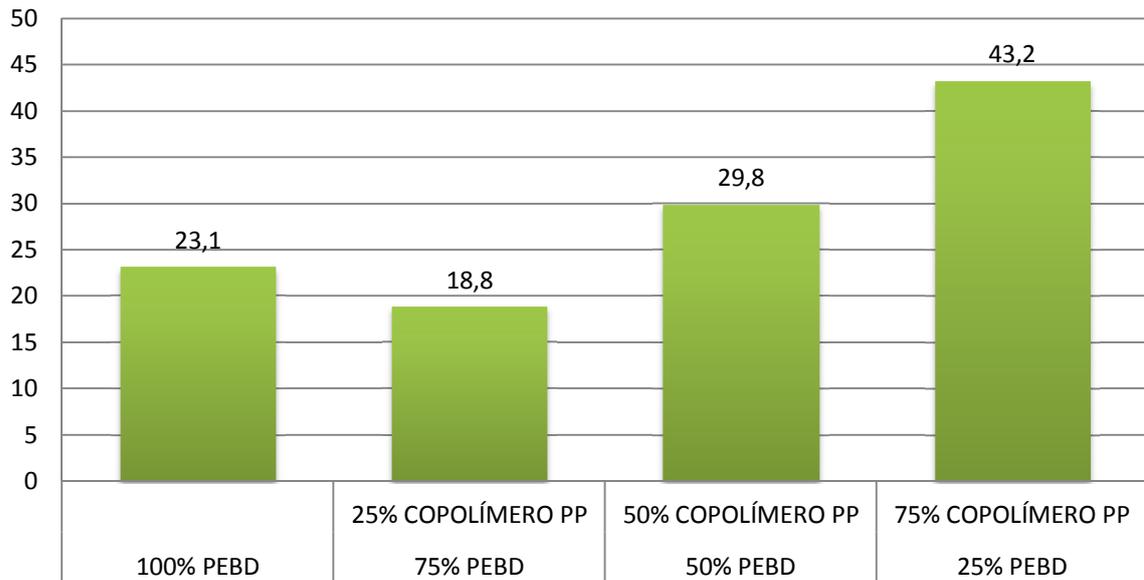
Gráfico 12 – Força Máxima (N)



Fonte: o autor, 2017.

O Gráfico 13 apresenta que a amostra com 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado apresentou maior resistência à Tensão Máxima e alcançou 43,2 MPa, enquanto que a amostra com 25% de Copolímero PP e 75% de PEBD Reciclado, novamente apresentou menor resistência, com 18,8 MPa.

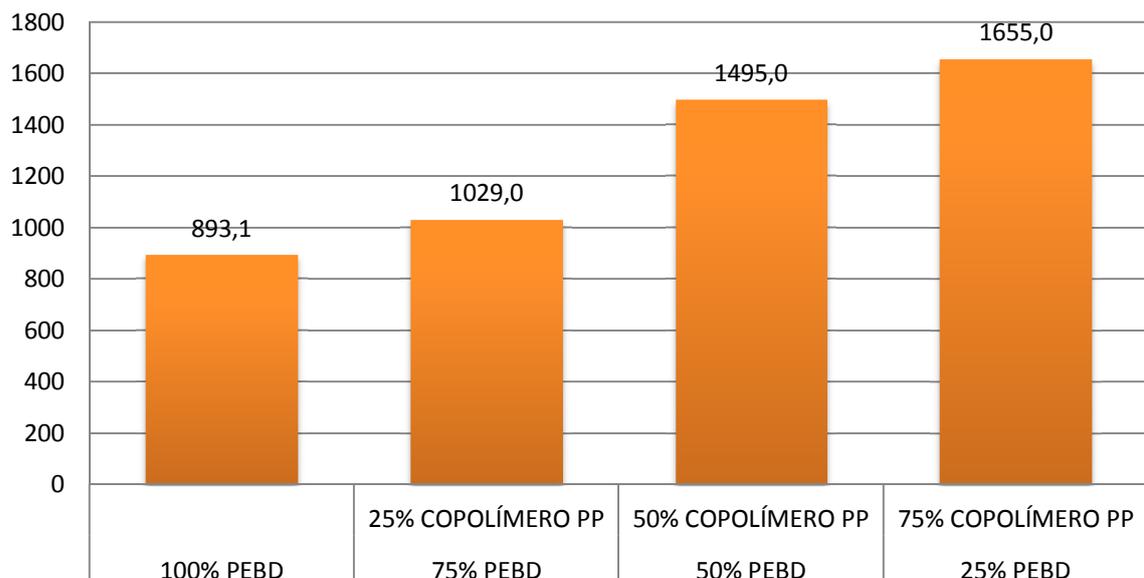
Gráfico 13 – Tensão Máxima (MPa)



Fonte: o autor, 2017.

O gráfico 14 indica que a amostra com 75% de Copolímero PP e 25% de PEBD Reciclado apresentou maior Módulo de Elasticidade e alcançou 1655,0 MPa, enquanto que a amostra com 100% de PEBD Reciclado apresentou menor valor, com 893,1 MPa.

Gráfico 14 – Módulo de Elasticidade (MPa)



Fonte: o autor, 2017.

4.3 Discussão dos resultados

A partir dos dados gerados, foi possível obter a média dos parâmetros analisados e prosseguir com a pesquisa a fim de considerar qual o material mais adequado ao uso preestabelecido. O material considerado mais adequado, dentro do proposto pelo trabalho foi aquele que apresentou melhores características de resistência às forças de flexão impostas pela articulação do punho.

Alguns CPs apresentaram resultado discrepante em relação aos demais, o que pode ter sido ocasionado por falhas de injeção. Nas análises de desvio padrão foram encontrados pontos muito diferentes. O tratamento estatístico ficou limitado pela quantidade de CPs, sendo apenas 3 unidades de cada amostra disposta por ensaio realizado.

Para a função esperada a ser desempenhada para o material proposto, que foi a concepção de uma órtese estabilizadora de punho, se faz necessário que as características basicamente apresentem adequação à FM – Força Muscular, onde haja:

- Possibilidade modelagem do material;
- Resistência à flexão, acima da força normal contra a resistência (Grau 5 de FM), conforme estabelecido pelo MRC (1981) e visto na tabela 5;
- Estabilização do punho na posição neutra, onde não sejam exigidas flexões, ou extensões do punho (Abaixo de Grau 3 de FM).

A definição, acerca desses dois aspectos, pode ser facilmente diferida, de forma qualitativa através do Grau de FM, em que segundo o MRC (1981) é classificado em escala de 0 a 5 e descrita na tabela 6.

Entretanto, esta tabela não inclui a situação em que a articulação do punho tem sua flexão excessivamente aumentada devido a um quadro específico de espasticidade, que segundo Chinelato (2010) é derivada de um dano no SNC – Sistema Nervoso Central, geralmente decorrente de uma lesão do neurônio motor superior (NMS), observada nos traumatismos crânio-encefálicos (TCE), esclerose múltipla (EM), nos acidentes vasculares encefálicos (AVE), e em comprometimentos congênitos como

a Paralisia Cerebral (PC). Esse quadro equivale a uma contração máxima, acima do Grau 5 de FM, sem relaxamento e sem controle voluntário do paciente acometido e se não for contornada pode causar deformidade e atrofia importantes.

Tabela 6 – Escala de Grau de Força Muscular

Grau	Descrição da Força Muscular
5	Força normal contra a resistência total.
4	A força muscular é reduzida, mas há contração muscular contra a resistência.
3	A articulação pode ser movimentada apenas contra gravidade e sem resistência do examinador.
2	Há força muscular e movimentação articular somente se a resistência da gravidade é removida.
1	Apenas um esboço de movimento é visto ou sentido ou fasciculações são observadas no músculo.
0	Nenhum movimento é observado.

Fonte: MRC – Medical Research Council, 1981.

No que tange o material proposto, existem duas possibilidades distintas de aplicação, em que são exigidas condições antagônicas dos músculos:

1. Acima do Grau de FM normal, incluindo a hipertonia (aumento do tônus muscular acima do limite normal), onde é importante a utilização de material que não se rompa com a aplicação de FM superior a 10 Kg de resistência.
2. Abaixo do Grau de FM normal, onde é requerido apenas apoio e estabilização da articulação em posição neutra (sem flexão ou extensão do punho).

Com base nessas informações foram observadas duas proporções de combinação dos polímeros, que podem ser utilizadas, de acordo com a condição muscular estabelecida acima:

1. Para os casos em que a FM equiparar ou exceder Grau 5, a opção com possibilidade de um viés para utilização do material, será da mistura que apresentou as melhores características de resistência à flexão nos ensaios, com composição de 25% de PEBD Reciclado e 75% de Copolímero PP.
2. Para os casos em que a FM que incide sobre a articulação do punho estiver compatível com Grau de FM entre 0, 1 e 2, não exigindo uma estabilização que resista à FM e sim a que promova neutralidade do movimento, mantendo o punho na posição estipulada, o material proposto pode ser o que tem a composição 50% PEBD Reciclado e 50% Copolímero PP.

Mediante os resultados encontrados nos testes realizados, desaconselha-se o uso das outras proporções ensaiadas, principalmente no que tange a estabilização com resistência de FM do paciente.

5 CONCLUSÕES

Através das análises obtidas nos Ensaios de Tração e Flexão foi possível avaliar a viabilidade de utilização dos polímeros COPOLÍMERO PP e PEBD reciclado na confecção de placas termo moldáveis para produção de órteses estáticas estabilizadoras de punho. Embora não tenha sido possível produzir CPs com 100% de COPOLÍMERO PP, por problemas relativos à injeção dos CPs, as misturas envolvendo este polímero, juntamente com as a mostras de PEBD reciclado foram ensaiadas e analisadas.

Durante a caracterização dos polímeros, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- Os Ensaios de Tração revelaram que todas as amostras mostraram-se frágeis.
- A mistura que apresentou as melhores características de resistência à flexão nos ensaios foi a com composição de 25% de PEBD e 75% de COPOLÍMERO PP. Esta informação apontou que esta composição foi mais indicada para utilização em pacientes cuja FM equiparar ou exceder Grau 5.
- Para utilização com pacientes em que a FM incidente sobre a articulação do punho estiver compatível com Grau 0, 1 ou 2, e não for exigida uma estabilização contra resistente à FM, os estudos apontaram que a composição 50% PEBD e 50% COPOLÍMERO PP poderá ser utilizada.

Em síntese, de acordo com os resultados dos testes realizados, concluiu-se que será possível, a partir das misturas definidas, elaborar placas de polímero termomoldável para a confecção de órteses estabilizadoras.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embora o estudo tenha se apresentado satisfatório ao encontrar duas possibilidades de materiais, incluindo o PEBD Reciclado como um polímero de baixo custo, para a produção de placas termomoldáveis para confecção de órteses estáticas estabilizadoras de punho, sugere-se:

1. Ampliar o estudo utilizando-se no mínimo 5 CPs nas análises, o que aumentará o grau de confiabilidade do estudo.
2. Estudo para mistura de Fortiprene TPE VERDE, que segundo a FCC (2017) é um Elastômero Termoplástico (material que tem o comportamento elástico da borracha, mas é processado como plástico), nas proporções de maior concentração de PEBD Reciclado. Esta iniciativa pode indicar um viés que possibilite aumentar a proporção de material reciclado, sendo o próprio Fortiprene totalmente reciclável. Além da composição, o Fortiprene poderá atuar como material de acabamento.
3. Ampliar o uso dos materiais selecionados neste estudo para a confecção de componentes para outros tipos de órteses. Como material de estabilização, as misturas selecionadas neste trabalho podem apresentar potencial para desenvolvimento de órteses estabilizadoras de tornozelo, como visto na figura 9 – Estabilizador de Tornozelo e figura 10 – Órtese AFO Pré Moldada.
4. Correlacionar os resultados com outros trabalhos, como o de Lindemayer (2004) que consta no Apêndice A (tabelas 7 a 10), para tentar aproximar o produto aos materiais disponíveis no mercado.
5. Realizar os testes de densidade do material para verificar a característica de peso como parte da definição de conforto do material, citada no capítulo sobre as Órteses.

6. Testar em qual temperatura o material inicia sua capacidade de ser moldado, pois quanto mais baixa for a temperatura de amolecimento do material, maior será a facilidade para trabalhar com o mesmo em clínicas e consultórios, a partir de equipamentos simples.
7. Realizar análise de viabilidade financeira para a produção das placas de polímero termomoldável a partir das misturas de 50% PEBD Reciclado com 50% Copolímero PP e de 25% PEBD Reciclado com 75% Copolímero PP.
8. Desenvolver melhorias no material, a partir do conceito de compósitos, inserindo outros componentes às misturas para aumentar resistência e diminuir o peso.
9. Tomar o PEBD Reciclado, que é de baixo custo, como base para mistura de outros polímeros que possam ser combinados e confirmam melhorias nas características necessárias ao material final, que é a placa termomoldável.
10. Realizar caracterização mais detalhada sobre o PEBD Reciclado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis - Identificação e simbologia. Norma ABNT NBR 13230:2008. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Data de Publicação: 17/11/2008.

BEGER-LEE D. E., BUFORD JR. W.L. Update in splinting materials and methods. Hand Clinic, 1991. vol. 07, n 03, p 569- 585.

BREGER-LEE, D. E.; BUFORD, W. L. Properties of Thermoplastic Splinting. Materials. Journal of Hand Therapy, 1992. p. 203 – 211, Oct./Dec.

CALLISTER, JR., W. D. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAVALIERI, I. Reciclagem de Polímeros. Disponível em: <<http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=1167&sid=8>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. CEMPRE Review 2013. Gráfica Pigma: São Paulo, 2013.

CHINELATO, J. C. de A.; PERPÉTUO, A. M. de A.; KRUEGER-BECK, E. Espasticidade – aspectos neurofisiológicos e musculares no tratamento com toxina botulínica do tipo A. Disponível em: <<http://www.revistaneurociencias.com.br/edicoes/2010/RN1803/388%20revisao.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2016.

DARWIN, C. A Origem das Espécies. Editora Martins Claret, 2014.

ECYCLE. Você sabe o que é reciclagem? E como ela surgiu? Disponível em: <<http://www.ecycle.com.br/component/content/article/44-guia-da-reciclagem/2046-reciclagem-o-que-e-como-surgiu-reaproveitamento-upcycle-origem-como-reciclar-coleta-seletiva-onde-reciclar.html>>. Acesso em: 25 mai. 2015.

EIGENHEER, E. M. A Limpeza Urbana Através dos Tempos. Pallotti: Porto Alegre, 2009.

FESS, E. E.; PHILIPS, C. A. Hand Splinting – Principles and Methods. Toronto: Mosby, 1987.

FCC. Indústria brasileira lança matéria-prima que acaba com dependência do petróleo para fabricantes de plásticos. Disponível em: <http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=156969>. Acesso em: 10 jan. 2017.

FUNDAÇÃO APRENDER. COLETA SELETIVA: O que pode ser Reciclado? Disponível em: <<http://www.fundacaoaprender.org.br/coleta-seletiva>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. dos. Ensaios dos Materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GARCIA, M. Como e Porque Separar o Lixo? Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8521-como-e-porqu%C3%AA-separar-o-lixo>>. Acesso em: 26 mai. 2015.

HAGE, L. Política de Resíduos Sólidos prevê o fim dos lixões até 2014. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/447523-POLITICA-DE-RESIDUOS-SOLIDOS-PREVE-O-FIM-DOS-LIXOES-ATE-2014.html>> Acesso em: 26 nov. 2016.

ISP. Órtese de Punho. Disponível em: < <https://www.ispsaude.com.br/isp/produto/ortese-de-punho-com-tala-mercur-neoprene/ME00472A01>>. Acesso em: 01 fev. 2017.

JULIÃO, A. Procura-se um técnico para a cadeira do gênio. Disponível em: <http://istoe.com.br/185612_PROCURA+SE+UM+TECNICO+PARA+A+CADEIRA+D+O+GENIO/> Acesso em: 14 nov. 2016.

KOGLER, G.F. Materials and technology. In: LUSARDI, M.M.; NIELSEN, C.C. Orthotics and prosthetics in rehabilitation. Woburn: Butter Worth–Heinemann, 2000. p.31-32.

LINDEMAYER, C. K. Estudo e avaliação de termoplásticos utilizados na confecção de órteses. São José dos Campos: UniVap, 2004.

LOURO, J.I. O grego aplicado à linguagem científica. Porto, Editora Educação Nacional, 1940.

MACIEL, M. Apenas 13% dos brasileiros têm acesso à coleta seletiva. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/brasil/noticias/apenas-13-dos-brasileiros-tem-acesso-a-coleta-seletiva>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

MARCOVECCHIO E. Dizionario Etimologico Storico dei Termini Medici. Firenze: Ed. Festina Lente, 1993.

MRC – MEDICAL RESEARCH COUNCIL. Aids to the examination of the peripheral nervous system, Memorandum no. 45, Her Majesty's Stationery Office, London, 1981.

MELVIN, J.L. Tratamento Ortótico da Mão. Quais são as Inovações? A Folha Médica: Rio de Janeiro, 1995. p.217-220.

ONU. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Preâmbulo – O Planeta. ONU – Organização das Nações Unidas, 2015.

ONUSSEIT, H. The influence of adhesives on recycling. Resources, Conservation and Recycling. v. 46, p. 168-181, 2006.

P2 FISIO. Órtese AFO. Disponível em: <<http://www.p2fisio.com/ortese-afo-pre-moldado>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

PADILHA, A.F. Materiais de Engenharia. São Paulo: Hemus, 1997.

PEDRETTI, L.W.; EARLY, M.B. Terapia ocupacional – Capacidades Práticas para Disfunções Físicas. São Paulo: Roca, 2004.

PINTEREST. Aphoteosis of Homer. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/367254544589822216/>> Acesso em: 30 abr. 2017.

PORTAL BRASIL. Reciclagem atinge apenas 8% dos municípios brasileiros. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/reciclagem-atinge-apenas-8-porcento-dos-municipios-brasileiros>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

REFORCE ORTOPÉDICOS. Estabilizador de Tornozelo. Disponível em: <<http://reforceortopedicos.com.br/produto/113/estabilizador-de-tornozelo>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

RIBEIRO, R. Como e Porque Separar o Lixo? Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/informma/item/8521-como-e-porqu%C3%AA-separar-o-lixo>>. Acesso em: 28 mai. 2015.

SHUHONG, W. et al. Mechanical properties os thermoplastic elastomers of poly (buthylene terephthalate) and poly (ethylene glycol) in a bending deformation. Journal of Applied Polymer Science: New York, 1994. v.51, n.1, p.141-145.

SOUZA, M. Projeto prorroga fim dos lixões para 2024 e prevê apoio técnico e financeiro da União. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/503947-PROJETO-PRORROGA-FIM-DOS-LIXOES-PARA-2024-E-PREVE-APOIO-TECNICO-E-FINANCEIRO-DA-UNIAO.html>> Acesso em: 26 abr. 2017.

SPINACÉ, M. A. da S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas. Química Nova vol.28 no.1 São Paulo Jan./Fev. Campinas – SP, 2005.

TROMBLY, C.A. Terapia Ocupacional Para a Disfunção Física. São Paulo: Santos, 1989.

APÊNDICE A

Resultados dos Testes nos Materiais de Referência para comparações em trabalhos futuros

A seguir, de acordo com Lindemayer (2004), nas tabelas 1 a 4 são demonstrados os resultados obtidos através dos testes realizados com os materiais de referência disponíveis no mercado. Na figura 18 são comparados os produtos de acordo com os resultados obtidos.

Tabela 7 – Resultados dos Ensaios de Tração nos materiais de referência.

	Clinic	Ômega	Preferred 2,4mm	Ezeform	Aquaplast
Carga Máxima (Kgf)	57,5 ± 2	101 ± 10	45 ± 1,5	44 ± 3	100 ± 4
Tensão Máxima de Tração (MPa)	11 ± 0,3	17 ± 0,7	12,5 ± 0,5	9 ± 0,6	20 ± 0,02
Alongamento na Ruptura (%)	17 ± 4	15 ± 3	7,5 ± 1	59 ± 24	707,5 ± 99
Módulo Secante a 1% de Along (Mpa)	407 ± 28	423 ± 57	438 ± 18	328 ± 32,5	381 ± 16

Fonte: Adaptado de Lindemayer, 2004.

Tabela 8 – Resultados dos Testes de Alongamento nos materiais de referência.

	Temperatura (°C)	Tempo de Amolecimento (Seg)	Tempo de Enrijecimento (Seg)	Observações
Ezeform	68	75	Inicial 90 Final 180	
Ômega	70	75	Inicial 60 Final 135	Gruda nas mãos quando aquecido
Aquaplast	70	75 (Transparência)	Inicial 120 Final 270	Material cristalino devido sua transparência
Preferred 2,4mm	70	50	Inicial 60 Final 120	
Clinic	68	80	Inicial 45 Final 105	

Fonte: Adaptado de Lindemayer, 2004.

Tabela 9 – Resultados dos Testes de Memória nos materiais de referência.

	Temperatura (°C)	Tempo de Amolecimento (Seg)	Marcas de Pressão	Retorno do Alongamento / Memória
Ezeform	68	75	Não	Não retornou totalmente ao seu tamanho natural, médio
Ômega	68 a 70	45	Sim, mas somem no reaquecimento	Retornou 7 vezes ao tamanho natural
Aquaplast	60 a 62	25	Não	Retornou 10 vezes ao tamanho natural e provavelmente repetiria
Preferred 2,4mm	60 a 61	15	Sim, muito	Realizado um alongamento, pois não retornou ao seu tamanho natural
Clinic	64	25	Sim, muito	Realizado um alongamento, pois não retornou ao seu tamanho natural

Fonte: Adaptado de Lindemayer, 2004.

Tabela 10 – Comparação dos materiais de referência com os resultados dos Testes.

	Temperatura (°C)	Tempo de Enrijecimento (Seg)	Tempo de Amolecimento (Seg)	Ensaio de Tração	Memória	Marcas / Digitais	Alongamento
Ezeform	68 a 70	90 a 180	75	Maior plasticidade material mais maleável, com menor resistência e permite médio alongamento	Média para mínima	Não assimila	Permitiu 3 alongamentos, rompeu-se no meio. Mínima elasticidade
Ômega	70 a 72	60 a 135	45 a 75	Maior elasticidade, material média rigidez, resistente às deformações, permite pequeno alongamento	Muita	Assimila e perde com novo amolecimento	Oferece resistência ao alongamento, permitiu pouco. Rompeu e quando aquecido fechava-as. Média elasticidade
Aquaplast	60 a 62	120 a 270	25 a 75	Maior plasticidade, material maleável, permite grande alongamento e resistência	Muita	Não assimila	Material alongou várias vezes, oferece resistência quando aquecido. Não apresentou ruptura. Maior elasticidade
Preferred 2,4mm	60 a 62	60 a 120	15 a 50	Maior elasticidade, material mais rígido, permite pouco alongamento e média resistência	Mínima	Assimila	Alongou duas vezes e rompeu na ponta. Material quase tem comportamento de "chiclete"
Clinic	65 a 70	45 a 105	25 a 80	Maior elasticidade. Possui média rigidez e resistência e proporcionou média deformação	Mínima	Assimila	Permitiu 5 alongamentos, retornando um pouco e esticando cada vez mais. Não rompeu-se

Fonte: Adaptado de Lindemayer, 2004.