

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais – PPGE3M

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS PARA A
FABRICAÇÃO DE UM PRODUTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA**

Diego Abich Rodrigues

Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Porto Alegre
2014

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de
Materiais – PPGE3M

**RECICLAGEM DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS PARA A
FABRICAÇÃO DE UM PRODUTO DE TECNOLOGIA ASSISTIVA**

Diego Abich Rodrigues
Tecnólogo em Fabricação Mecânica

Trabalho realizado no Departamento de Materiais da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Ciência e Tecnologia dos Materiais

Porto Alegre
2014

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração de Ciência e Tecnologia dos Materiais, e aprovada em sua forma final, pelo orientador e pela Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Ruth Marlene Campomanes Santana

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Eduardo Cristiano Milke - IFSUL

Dr.^a Bianca Bairros Rabello da Silva - UFRGS

Prof. Dr. Mauro César Rabuski Garcia - IFSUL

Prof. Dr. Telmo Roberto Strohaecker
Coordenador do PPGE3M

*“Para as pessoas sem deficiência, a tecnologia torna as coisas mais fáceis,
para as pessoas com deficiência, a tecnologia torna as coisas possíveis.”*

(RADABAUGH, 1993).

DEDICATÓRIA

À Francine de Oliveira Maciel

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas inúmeras oportunidades de evolução oferecidas.

À minha família, pelo amor, respeito, dedicação e apoio aos meus estudos. Sem a base forte dos meus pais eu jamais seria o homem que sou.

À minha esposa, pelo amor, carinho, respeito, dedicação e paciência que tem tido ao longo dos últimos anos, por cuidar e acreditar em mim.

À professora Ruth Marlene Campomanes Santana pela orientação, dedicação, estímulo, confiança, paciência, pelo apoio e incentivo incondicional.

Ao amigo Nelito Ramos Molon, pelo trabalho de conclusão realizado em conjunto, pelo auxílio na elaboração do produto e pela forte amizade.

Aos professores Eduardo Cristiano Milke e Mauro César Rabuski Garcia pelas orientações, considerações, pela amizade e fonte de inspiração.

Aos colegas Vinícius Martins, Paulo Boesch, Endrigo Henn, Diego Wermuth, Djesse Viegas, Émerson Fischer e Carlos Aveleda pelo companheirismo, pela forte amizade, pelo auxílio nos meus experimentos, pelas longas conversas, discussões e pelos momentos de alegria vividos nos últimos anos. Em especial aos colegas e grandes amigos Alex Sandro Matos de Oliveira e André Luís Catto, pelo auxílio e fonte de inspiração.

À Precision pelo excelente trabalho realizado e pelos detalhamentos fornecidos para a conclusão deste trabalho.

À todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
SUMÁRIO	VII
LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE EQUAÇÕES	XVI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XVII
RESUMO	XX
ABSTRACT	XXI
INTRODUÇÃO	22
1 REVISÃO DE LITERATURA	24
1.1 Deficiência visual	24
1.2 População	24
1.3 Inclusão Social	28
1.4 Sistema Braille.	30
1.5 Tecnologia Assistiva	31
1.5.1. Conceitos	31
1.5.2. A Legislação Brasileira e a TA	32
1.5.3. A TA para inclusão social e escolar da pessoa com deficiência.	34
1.5.4. Produtos de TA para deficientes visuais	34
1.6 Seleção de materiais	36
1.6.1. Materiais e o meio ambiente	36
1.7 Problemática dos Resíduos Plásticos	36
1.8 Reciclagem de termoplásticos	40
1.8.1. Coleta e separação	40
1.8.2. Processos de reciclagem de termoplásticos	42
1.8.3. Logística reversa e a reciclagem	42
1.9 Termoplásticos convencionais	43
1.9.1. Polietilenos	44
1.9.2. Polímeros estirênicos	46
1.10 Poliestireno de alto impacto (PSAI)	48

1.11	Blendas Poliméricas	50
1.11.1.	Compatibilização das blendas poliméricas	52
1.12	Reprocessamento de polímeros pós-consumo	52
1.12.1.	Processo de extrusão de materiais termoplásticos.....	53
1.12.2.	Processo de injeção de materiais termoplásticos	53
1.12.3.	Técnicas de planejamento e análise de experimentos	54
2	OBJETIVOS	56
2.1	Objetivo geral	56
2.2	Objetivos específicos.....	56
3	MATERIAIS E MÉTODOS / METODOLOGIA	57
3.1	Materiais.....	58
3.2	Metodologia.....	58
3.2.1.	Etapa 1	58
3.2.2.	Etapa 2	60
3.2.3.	Etapa 3	60
3.2.4.	Caracterização.....	61
3.2.5.	Delineamento estatístico	62
3.2.6.	Modelamento	62
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1	Concepção e modelamento do produto	63
4.2	Modelamento do molde protótipo.....	64
4.3	Etapa 1.....	65
4.3.1.	Índice de Fluidiez	65
4.3.2.	Ensaio de Impacto	67
4.3.3.	Ensaio de tração	68
4.3.4.	Dureza	70
4.3.5.	Análises Térmicas	71
4.3.6.	Análise estatística PSAI	72
4.3.7.	Análise estatística PEAD	79
4.4	Etapa 2.....	84
4.4.1.	Índice de Fluidiez	85
4.4.2.	Resistência ao impacto	86
4.4.3.	Resistência à tração	87
4.4.4.	Dureza	88

4.4.5. Análise térmica	88
4.5 Etapa 3.....	90
4.5.1. Resistência ao impacto	90
4.5.2. Resistência à tração.....	91
4.5.3. Dureza	92
4.5.4. Injeção do produto	92
5 CONCLUSÕES	93
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	94
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICES	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplificação da exclusão, segregação, integração e inclusão.	23
Figura 2. Comparativo de alguns resultados encontrados nas duas pesquisas utilizadas no relatório mundial da saúde.....	25
Figura 3. Percentual de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas na população residente, segundo os grupos de idade.	26
Figura 4. Taxa de alfabetização de pessoas com 15 anos ou mais de idade, total e com pelo menos uma das deficiências investigadas, segundo as grandes regiões.	27
Figura 5. Distribuição percentual da população de 15 anos ou mais de idade, por existência de pelo menos uma das deficiências investigadas e nível de instrução.....	27
Figura 6. Educação Especial – Número de matrículas – Brasil 2007/2012. a) Educação Infantil; b) Ensino Fundamental; c) Ensino Médio.	29
Figura 7. Educação Especial – Brasil – 2012. a) Matrículas em Classes Especiais e Escolas Exclusivas; b) Matrículas em Classes Comuns (Alunos Incluídos).....	29
Figura 9. Reglete, punção e papel.....	34
Figura 10 - Sorobã.	35
Figura 11 - Alfabeto Braille fabricado em madeira.....	35
Figura 12. Alfabeto Braille.....	35
Figura 13. Estratégia para escolha de materiais..	36
Figura 14. Comparativo geração de resíduos sólidos no Brasil entre 2011 e 2012.....	37
Figura 15. Média da composição gravimétrica da Coleta Seletiva no Brasil.....	37
Figura 16. Perfil dos Plásticos.	38
Figura 17. Crescimento da produção de Plástico no Mundo.....	38
Figura 18. Demanda de plástico por segmento.	39
Figura 19. a) Descarte inadequado de embalagens plásticas; b) Vida selvagem afetada pelo resíduo plástico.....	39
Figura 20. Produção do material reciclado no Brasil.	40

Figura 21. Simbologia para materiais poliméricos.....	41
Figura 22. Separação por ensaio de densidade.....	41
Figura 23. Reação de polimerização do eteno.....	44
Figura 24. Representação esquemática de alguns tipos de Polietileno.....	45
Figura 25. Fórmula estrutural do poliestireno.....	46
Figura 26. Polimerização do estireno.....	47
Figura 27. Estereorregularidade do PS e suas propriedades térmicas.....	47
Figura 28. Ilustração da morfologia do PSAI (Fase contínua: PS, fase dispersa: PB).....	48
Figura 29. Mecanismo de formação do copolímero grafitizado PB-PS.....	49
Figura 30. Representação esquemática da morfologia de blendas poliméricas. a) Blenda miscível; b) Blenda imiscível e c) Blenda parcialmente miscível.....	51
Figura 31. Representação esquemática dos possíveis comportamentos das blendas.....	51
Figura 32. Inserção do agente compatibilizante nas fases A e B da blenda polimérica: a) copolímero em bloco e b) copolímero grafitizado.....	52
Figura 33. Modelo geral de um processo.....	54
Figura 34. Fatores controlados e não controlados em um processo de injeção.....	55
Figura 35. Fluxograma dos materiais e metodologia utilizada.....	57
Figura 36 - Embalagens de PEAD de produtos de limpeza pós consumo após a limpeza (a) e na forma de <i>flakes</i> após a moagem (b).....	58
Figura 37 - a) Resíduo de PSAI recolhido no RU da UFRGS; b) Resultado após lavagem e moagem.....	59
Figura 38. Fluxograma preparação das amostras etapa 1.....	59
Figura 39. Fluxograma de preparação das amostras na etapa 2.....	60
Figura 40. Representação do Ensaio de Impacto Izod.....	61
Figura 41. Tecla Braille.....	63
Figura 42. Novo modelamento da tecla Braille.....	63
Figura 43. Perfil modelo para montagem das teclas e suas dimensões.....	64

Figura 44. Molde protótipo para as teclas Braille.	64
Figura 45. Montagem das teclas projetadas.	65
Figura 46. Comparativo IF após processamento por extrusão.	66
Figura 47. Índice de Fluidez Geral.	67
Figura 48. Comparativo dos resultados do ensaio de Impacto para PSAI e PEAD.	68
Figura 49. Comparação resistência máxima a tração.	69
Figura 50. Comparação módulo de elasticidade.	70
Figura 51. Comparação dureza Shore D.	71
Figura 52 - Curvas térmicas PSAI e PEAD após processamento sob diversas condições.	72
Figura 53. Relação entre as variáveis de processo e o Índice de Fluidez (PSAI).	73
Figura 54. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados do Índice de Fluidez (PSAI).	73
Figura 55. Relação entre as variáveis de processamento e a resistência ao Impacto (PSAI). ..	74
Figura 56. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência ao impacto (PSAI).	75
Figura 57. Relação entre as variáveis de processamento e a resistência à tração (PSAI).	76
Figura 58. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência à tração (PSAI).	76
Figura 59. Relação entre as variáveis de processamento e a dureza (PSAI).	77
Figura 60. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de dureza (PSAI). ...	78
Figura 61. Relação entre as variáveis de processamento e o índice de fluidez (PEAD).	79
Figura 62. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados do Índice de Fluidez (PEAD).	79
Figura 63. Relação entre as variáveis de processamento e resistência ao impacto (PEAD). ...	80
Figura 64. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência ao impacto (PEAD).	81
Figura 65. Relação entre as variáveis de processamento e a resistência à tração (PEAD).	82

Figura 66. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência à tração (PEAD).	82
Figura 67. Relação entre as variáveis de processamento e a dureza (PEAD).	83
Figura 68. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de dureza (PEAD). .	83
Figura 69. Índice de fluidez para as blendas PEAD/PSAI/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.	85
Figura 70. Resistência ao impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.	86
Figura 71. Resistência à tração e módulo de elasticidade das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.	87
Figura 72. Dureza das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.....	88
Figura 73. a) Comparativo entre as curvas de DSC do resfriamento. b) Comparativo entre as curvas do segundo aquecimento.	89
Figura 74. Resistência ao impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS. ...	90
Figura 75. Resistência máxima à tração e módulo de elasticidade para as blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.....	91
Figura 76. Dureza das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do PE.....	45
Tabela 2 - Comparativo entre as propriedades mecânicas do PEAD e PEBD.....	46
Tabela 3 - Propriedades do PS e PSAl.	49
Tabela 4 - Parâmetros de processo utilizados na etapa 1.	60
Tabela 5 - Comparativo Índice de Fluidéz após processamento por extrusão.	65
Tabela 6 - Comparativo do Índice de fluidéz após o processamento por injeção.	66
Tabela 7 - Resistência ao impacto PSAl e PEAD.	67
Tabela 8 - Resistência a tração PSAl e PEAD	69
Tabela 9. Termogravimetria dos resíduos de PSAl e PEAD.....	71
Tabela 10 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de IF e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAl).....	74
Tabela 11 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RI e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAl).....	76
Tabela 12 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RT e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAl).....	77
Tabela 13 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de dureza e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAl).....	78
Tabela 14 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de IF e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).....	80
Tabela 15 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RI e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).....	81
Tabela 16 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RT e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).....	83
Tabela 17 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de dureza e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).....	84

Tabela 18 - Índice de Fluidez para blendas PEAD/PSAI/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.	85
Tabela 19 – Resistência ao impacto para as blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.	86
Tabela 20 – Resistência à tração e módulo de elasticidade das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.	87
Tabela 21. Comportamento térmico das blendas PSAI/PEAD compatibilizadas com 2 e 5% de SEBS.	88
Tabela 22 – Resistência ao impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.	90
Tabela 23 – Resistência à tração das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.	91

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Índice de fluidez do PSAI.....	75
Equação 2 – Resistência ao impacto do PSAI.....	76
Equação 3 – Resistência à tração do PSAI.....	78
Equação 4 – Dureza do PSAI.....	79
Equação 5 – Índice de fluidez do PEAD.....	81
Equação 6 – Resistência ao impacto do PEAD.....	82
Equação 7 – Resistência à tração do PEAD.....	83
Equação 8 – Dureza do PEAD.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

ABS – Estireno-Butadieno-Acrilonitrila

ANN – *Artificial Neural Network*

ANOVA – *Analysis of Variance*

aPS – Poliestireno Atático

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CAT – Comitê de Ajudas Técnicas

CDSS – Conferência sobre Determinantes Sociais da Saúde.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CORDE – Subcoordenadoria para Integração de Pessoas com Deficiência

D – Dureza

DDHC – Diversidade, Direitos Humanos e Cidadania

DOE – *Design of Experiments* (Projeto de experimentos)

EPS – Poliestireno expandido

H – *High* (Alto)

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICD – *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*

IF – Índice de Fluidez

Inep – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira.

iPS – Poliestireno Isotático

L – *Low* (Baixo)

LR – Logística Reversa

MEC – Ministério da Educação

NBR – Norma Brasileira

OMS - Organização Mundial da Saúde

PB – Polibutadieno

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PEBD – Polietileno de Baixa Densidade

PELBD – Polietileno Linear de Baixa Densidade

PET – Politereftalato de Etila

PP – Polipropileno

PR – Paraná

PS – Poliestireno

PSAI – Poliestireno de Alto Impacto

PVC – Policloreto de Vinila

RI – Resistência ao Impacto

RSM – *Response Surface Technology*

RSU – Resíduo Sólido Urbano

RT – Resistência à tração

RU – Restaurante Universitário

SAN – Estireno-Acrilonitrila

SBR – Copolímero aleatório de estireno-butadieno-estireno

SBS – Copolímero em bloco de estireno-butadieno-estireno

SEBS – Copolímero de estireno-(etileno-butileno)-estireno.

SEDH – Secretaria dos Direitos Humanos

SEED – Secretaria de Estado da Educação

SEESP – Secretaria de Educação Especial

SINDIPLAST – Sindicato da Indústria de Material Plástico

sPS – Poliestireno Sindiotático

TA – Tecnologia Assistiva

T_m – Temperatura de Fusão

T_p – Temperatura de processamento

UV – Ultra Violeta

V_r – Velocidade da rosca

RESUMO

Neste trabalho uma blenda foi criada utilizando poliestireno de alto impacto (PSAI) e polietileno de alta densidade (PEAD), ambos pós consumo, com o intuito de empregar esta blenda na fabricação de um produto de tecnologia assistiva para deficientes visuais.

Os polímeros foram processados por extrusão e injeção, individualmente, sob diferentes condições de temperatura de processamento e velocidade da rosca a fim de avaliar a influência destes parâmetros em suas propriedades de fluidez, resistência ao impacto, resistência à tração, módulo de elasticidade, dureza e estabilidade térmica.

O método estatístico denominado projeto de experimentos (DOE) foi utilizado, através do software Statgraphics Centurion®, para que se pudesse obter dados quantitativos sobre a influência de cada parâmetro de processamento sobre as propriedades avaliadas. Através do delineamento estatístico foi possível a definição dos coeficientes de regressão para cada propriedade, o que possibilita a previsão dos resultados ante o processamento.

Blendas foram preparadas variando a concentração de cada polímero, em massa, e compatibilizadas utilizando copolímero de estireno-(etileno-butileno)-estireno (SEBS) com o intuito de avaliar sua miscibilidade, propriedades mecânicas e térmicas, além de demonstrar a viabilidade da utilização de uma destas para fabricação do produto desenvolvido. Ficou evidenciado a imiscibilidade dos polímeros utilizados devido à redução das propriedades após a mistura, no entanto os resultados se mostraram adequados ao produto em questão.

A blenda PSAI/PEAD/SEBS contendo 25/75/2 %, em massa, apresentou melhores resultados para resistência ao impacto e dureza e foi escolhida para fabricação do produto final.

Este trabalho demonstrou a viabilidade da utilização de resíduos poliméricos pós-consumo para a fabricação de um produto de tecnologia assistiva, contribuindo, simultaneamente, para a inclusão social e sustentabilidade.

Palavras-chave: Tecnologia assistiva, blendas poliméricas, propriedades mecânicas, blendas de PSAI/PEAD.

ABSTRACT

In this work, a blend was created using HIPS and HDPE, both post-consume, with the intent of using this blend in the creation of an assistive technologic product for visually impaired subjects.

The polymers were, individually, processed by extrusion and injection under different processing temperature and screw speed to assess the influence of these parameters on its own flow properties, impact strenght, tensile strenght, elasticity modulus, hardness and thermal stability.

The statistical method known as design of experiments (DOE) was used, through the software Statgraphics Centurion®, so that one could obtain quantitative data on the influence of each parameter processing on the assessed properties. Through statistical design it was possible to define the regression coefficients for each property which enables, before processing, the prediction of the results.

Blends were prepared by varying the concentration of each polymer by weight and compatibilized using SEBS in order to evaluate their miscibility, mechanical properties and thermal ones, apart from demonstrating the feasibility of using one of these for the manufacture of the developed product. It was evidenced immiscible polymers used due to the reduction of properties after mixing, nevertheless the results were suitable for the product.

The HIPS/HDPE/SEBS blend containing 25 /75/ 2%, in weight, showed the best results for resistance of impact and hardness and it was chosen to produce the final product.

This work demonstrated the feasibility of using post-consume polymer waste to manufacture an assistive technology product while contributing to social inclusion and sustainability.

Keywords: Assistive technology, polimeric blends, mechanical properties, HIPS/HDPE blends.

INTRODUÇÃO

A necessidade de inclusão social é um sinal da presença de excluídos, ou seja, pessoas que não possuem acesso aos direitos que pertencem a todos – educação, saúde, trabalho, transporte, esporte, cultura e lazer. Apesar de leis que os garantam (BRASIL, 1999), excluem-se pessoas consideradas diferentes por meio de ações sociais que impedem o desenvolvimento do universo de direitos e deveres desses cidadãos. Dentre os indivíduos excluídos podemos citar as pessoas com deficiência (NERI, 2003).

De acordo com o decreto de nº 3.298, de dezembro de 1999, deficiência pode ser definida como perda ou anormalidade de uma estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica que gere incapacidade para o desempenho de atividade, dentro do padrão considerado normal para o ser humano. O mesmo decreto ainda define deficiência permanente e incapacidade e enquadra as pessoas com deficiência nas seguintes categorias: deficiência física, auditiva, visual ou múltipla, de acordo com critérios pré-estabelecidos (BRASIL, 1999). Desta forma, de acordo com a legislação brasileira, todos farão parte desta classificação em algum momento de suas vidas, a maioria na velhice.

Os dados sobre deficiência em nível global são difíceis de serem agrupados devido às variações nas abordagens, objetivos, métodos empregados, bem como os critérios estabelecidos por cada país (OMS, 2011) (MONT 2007). No Brasil, as políticas públicas de inclusão e acessibilidade são baseadas nos dados obtidos através do Censo realizado pelo IBGE a cada 4 anos. O último Censo realizado no ano de 2010 apontou uma população de 45.606.048 brasileiros, mais de 24% da população total, com algum tipo de deficiência dentre as anteriormente citadas, sendo a maior ocorrência referente à deficiência visual, que afeta 18,6% da população brasileira (SEDH-PR/SNPD, 2012).

O que fica evidente é a necessidade de prover recursos tecnológicos e de aprendizagem para que estas pessoas possam usufruir todos os seus direitos. O termo Tecnologia Assistiva (TA) surge no Brasil como uma possibilidade de aliar recursos tecnológicos a produtos, serviços, técnicas e metodologias, visando facilitar o desenvolvimento de pessoas com deficiência, além de promover a inclusão social (BRASIL, 2008). Pode-se, então, afirmar que o principal objetivo da TA é “proporcionar à pessoa com deficiência maior independência, qualidade de vida e inclusão social, por meio da ampliação

de sua comunicação, mobilidade, controle de seu ambiente, habilidades de seu aprendizado e trabalho” (COOK; HUSSEY, 1995).

Surge, assim, a necessidade de geração de recursos, que se transforma em uma oportunidade para a criação de novos produtos e uma possibilidade de agregar recursos tecnológicos ao compromisso social.

Um fator importante quanto à elaboração de produtos de TA é que os mesmos devem prover, sempre que possível, a interação entre o deficiente e o ambiente em que o mesmo se encontra, isto para que se possa realizar o processo de inclusão. A Figura 1 exemplifica a diferença entre os termos exclusão, segregação, integração e inclusão.

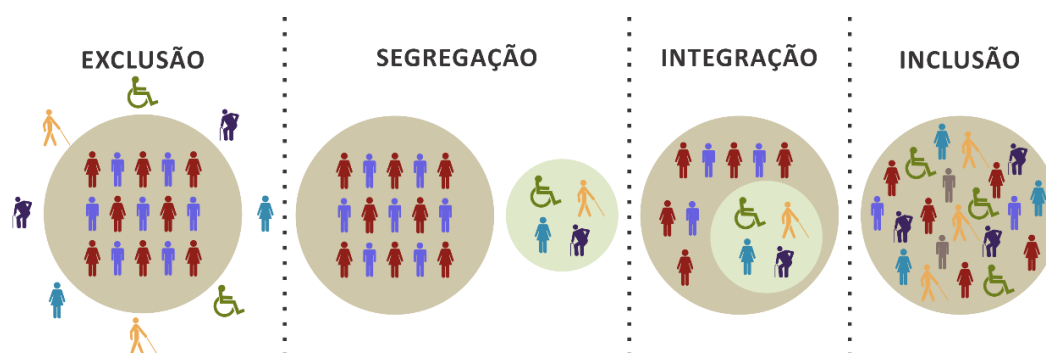


Figura 1. Exemplificação da exclusão, segregação, integração e inclusão. DDHC (2013)

Outro fator de grande relevância na atualidade, quando se refere a desenvolvimento de produtos, é a necessidade de redução dos impactos destes sobre o meio ambiente, visto que toda atividade humana impacta sobre o mesmo (ASHBY, 2012). Desta forma as etapas de desenvolvimento devem ser elaboradas observando os impactos gerados no processo, a redução dos insumos, a reutilização de matéria-prima, bem como a reciclagem. Além disso, de acordo com Shibao *et al.* (2010), para que uma organização obtenha sucesso deve oferecer um produto com valor mais perceptível ao cliente, e isto pode estar relacionado a diversos fatores que incluem sustentabilidade e compromisso social.

Uma boa alternativa para aliar compromisso social e sustentabilidade, e desta forma agregar valor ao produto, é a utilização de material reciclado na fabricação de produtos de TA. Alguns materiais termoplásticos são os mais utilizados, devido a processos de reciclagem simples e baratos, além de grandes volumes de descarte. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo utilizar polímero reciclado para fabricação de um produto de TA, de forma a apresentar um caminho para aliar inclusão social à sustentabilidade, além de agregar valor à matéria-prima, anteriormente descartada de forma inadequada.

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Deficiência visual

A cegueira pode ser considerada uma alteração grave ou total de uma ou mais funções elementares da visão, afetando de modo irremediável a percepção de cores, tamanhos, formas, distância, posição ou movimento em um campo mais ou menos abrangente. Pode-se classificar, de forma genérica, como congênita, quando ocorre desde o nascimento, ou adventícia, quando adquirida de forma acidental ou orgânica (SÁ *et al.*, 2007; SEESP/SEED/MEC, 2007).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) através da classificação estatística internacional de doenças e problemas relacionados à saúde (ICD, 2010) agrupa a função visual em quatro níveis: visão normal, deficiência visual moderada, deficiência visual severa e cegueira, sendo a deficiência visual moderada e severa também denominadas baixa visão.

Considera-se cegueira a capacidade de enxergar igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica. Já a baixa visão significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, mais uma vez com a melhor correção óptica. Há casos em que a soma da medida do campo visual em ambos os olhos é igual ou menor que 60 graus, ou ocorrem simultaneamente quaisquer das condições anteriores (BRASIL, 1999; BRASIL, 2004).

1.2 População

Os dados sobre deficiência a nível global são difíceis de serem agrupados devido às variações nas abordagens, objetivos, métodos empregados, bem como os critérios estabelecidos por cada país (OMS, 2011; MONT 2007).

A OMS, através do relatório mundial da saúde (OMS, 2011) utiliza-se de duas pesquisas distintas para fornecer as estimativas da deficiência a nível mundial (ambas as pesquisas foram realizadas em 2004).

Segundo a Pesquisa Mundial da Saúde, 15,6% da população adulta, cerca de 650 milhões de pessoas, apresenta dificuldades significativas na vida diária. Destes, aqueles que apresentaram dificuldades bastante significativas representam 2,2%, cerca de 92 milhões de pessoas. Caso incluía-se neste universo adultos com 15 anos ou mais, cerca de 720 milhões de pessoas enfrentam dificuldades funcionais, sendo em cerca de 100 milhões destes casos dificuldades bastante significativas.

A abordagem realizada através da Carga Global de Doenças apresenta como resultado 15,3% da população mundial, cerca de 978 milhões de pessoas, com alguma deficiência grave ou moderada, enquanto que 2,9%, cerca de 185 milhões de pessoas, enfrentavam deficiências graves, esta pesquisa inclui crianças de 0-14 anos e adultos com mais de 15 anos. A Figura 2 apresenta o comparativo de alguns resultados encontrados nas duas pesquisas.

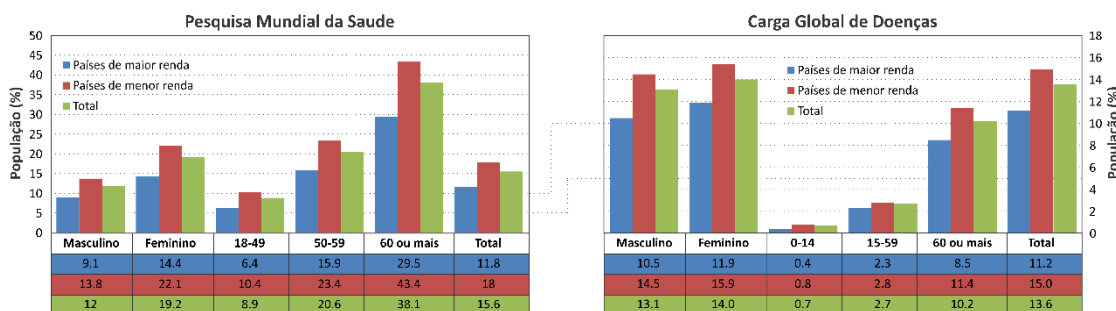


Figura 2. Comparativo de alguns resultados encontrados nas duas pesquisas utilizadas no relatório mundial da saúde. OMS (2011)

No Brasil os dados sobre a prevalência das deficiências são obtidos através do Censo, realizado pelo IBGE a cada 10 anos. O último censo, realizado no ano de 2010, apontou 23,9% dos Brasileiros, cerca de 46 milhões, com pelo menos uma das deficiências investigadas, sendo que a maior ocorrência está relacionada à deficiência visual, que representa 18,6% da população Brasileira, 3,46% apresentaram deficiência visual severa e 1,6% declararam ser totalmente cegos (BRASIL, 2012).

Segundo a OMS, a principal causa de cegueira no Brasil é a catarata, com aproximadamente 40% dos casos. Em seguida, aparecem como maiores causas o glaucoma, com 15%, a retinopatia diabética, com 7% e a cegueira na infância, com 6,4%. A degeneração macular relacionada à idade, com 5% dos casos de cegueira, é somente a quinta maior causa de cegueira, diferentemente da proporção mundial onde ela aparece em terceiro lugar (PORTAL DA SAÚDE, 2009; OMS, 2004). De acordo com Resnikoff *et al.* (2004) as principais causas de cegueira na população adulta mundial são: a catarata, o glaucoma e a degeneração macular relacionada à idade.

Os países menos desenvolvidos são responsáveis pela maior parte destas estatísticas. Segundo dados da OMS, a prevalência da cegueira no mundo pode variar de 1% na África a 0,2% na Europa ocidental e nos Estados Unidos. No caso da baixa visão varia de 3% na África a 1,1% na Europa ocidental.

Em 2010, no Brasil, existiam 506 mil pessoas cegas e 6 milhões com grande dificuldade de enxergar. A região Sudeste concentra o maior número de pessoas cegas, 248.000 cegos, seguida pela região Nordeste com 126.000 pessoas. São Paulo é o estado com o maior número de cegos (143.426), seguido do Rio de Janeiro (53.173) (IBGE, 2010).

A Figura 3 apresenta a prevalência de ao menos uma deficiência segundo grupos de idade.

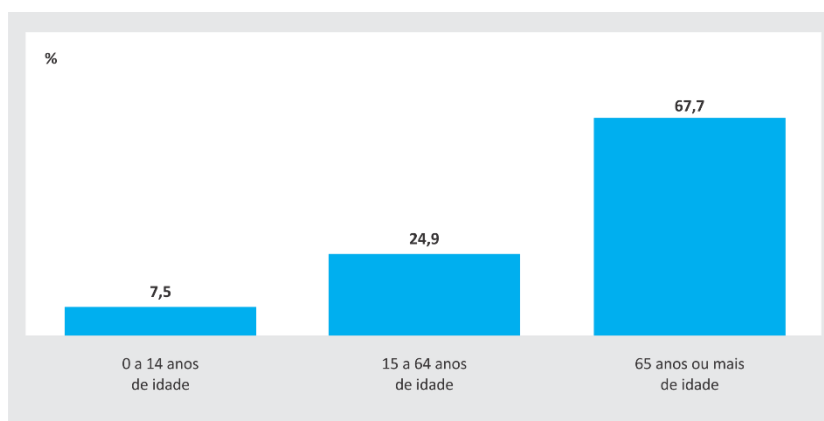


Figura 3. Percentual de pessoas com pelo menos uma das deficiências investigadas na população residente, segundo os grupos de idade. IBGE (2010)

Pode-se observar através da Figura 3 que o grupo com 65 anos ou mais apresenta um aumento significativo na prevalência de alguma deficiência, e isto se deve às limitações do próprio fenômeno do envelhecimento, onde ocorre perda gradual da acuidade visual e auditiva e da capacidade motora do indivíduo. Outro fato a ser observado é a baixa prevalência de alguma deficiência em crianças de 0 a 14 anos. Este dado pode estar relacionado à percepção da limitação por parte da mesma, visto que a maioria das crianças só percebe a deficiência após encontrar dificuldades na escola.

Segundo o Censo demográfico de 2010, a taxa de alfabetização de pessoas com 15 anos ou mais de idade foi de 90,6%, sendo que, para a população de mesma faixa etária com pelo menos uma das deficiências investigadas essa taxa reduz para 81,7%. A Figura 4 apresenta a taxa de alfabetização por regiões do Brasil.

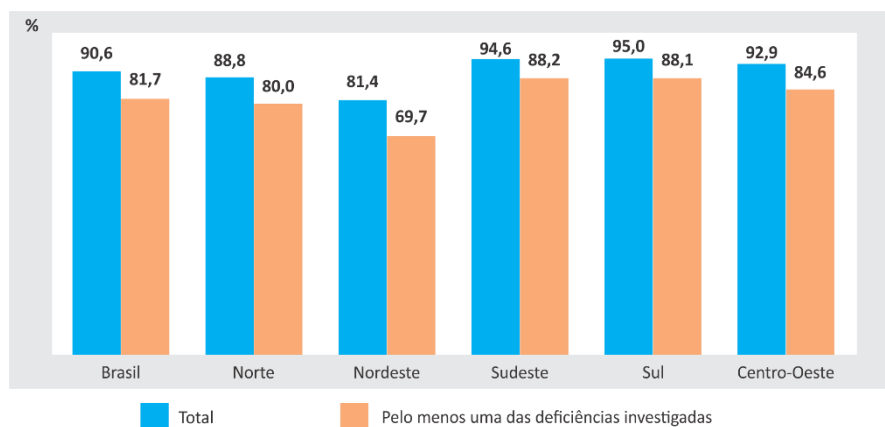


Figura 4. Taxa de alfabetização de pessoas com 15 anos ou mais de idade, total e com pelo menos uma das deficiências investigadas, segundo as grandes regiões. IBGE (2010)

Considerando o grupo etário de 6 a 14 anos, a taxa de escolarização das crianças com pelo menos uma das deficiências investigadas foi de 95,1%, cerca de 2% menor do que a taxa de escolarização das crianças dessa mesma faixa etária sem nenhuma das deficiências, que foi de 96,9% (BRASIL, 2006). A Figura 5 apresenta a distribuição da população quanto ao nível de instrução.

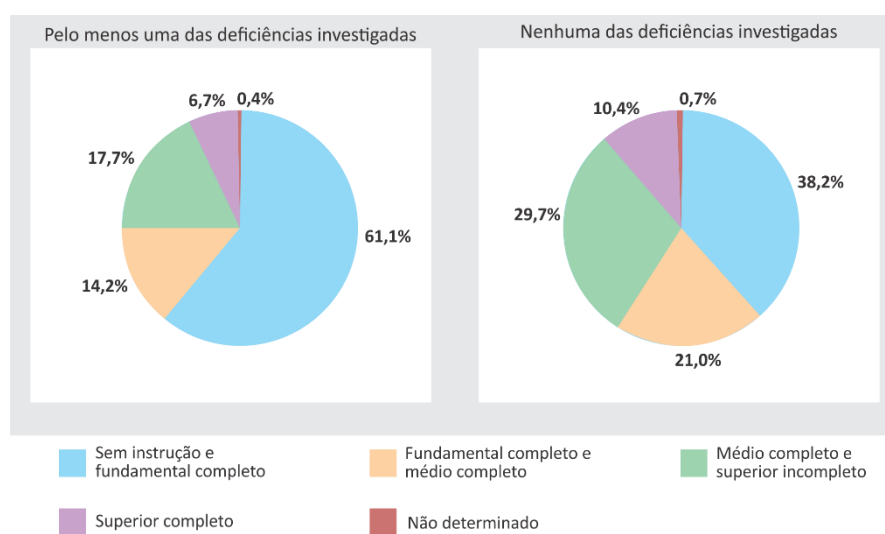


Figura 5. Distribuição percentual da população de 15 anos ou mais de idade, por existência de pelo menos uma das deficiências investigadas e nível de instrução. IBGE (2010)

O Censo de 2010 avaliou a taxa de atividade da população total, bem como aqueles com alguma deficiência, a fim de avaliar a inserção de pessoas com deficiência no mercado de trabalho. Dos resultados obtidos podemos destacar, considerando as taxas de atividade por sexo, que a condição de deficiência como fator limitante na inserção da pessoa com deficiência no mercado de trabalho atinge mais a população masculina do que a feminina. Quando comparadas as taxas de atividade por tipo de deficiência investigada, a que exerceu

maior influência sobre a participação no mercado de trabalho foi a deficiência intelectual. A deficiência visual, apesar de ter sido a de maior incidência na população, exerceu a menor influência na taxa de atividade.

Cerca de 40% da população com algum tipo de deficiência, que possui emprego, tem carteira assinada. Com relação aos rendimentos 46,4% recebem até 1 (um) salário mínimo ou não tinha rendimento. Este fato pode estar diretamente relacionado à deficiência, segundo a comissão sobre determinantes sociais da saúde (OMS), visto que a desigualdade é uma das principais causas dos problemas de saúde, e, portanto da deficiência (CDSS, 2010).

Quanto à esperança de vida ao nascer, o brasileiro vive em média 74 anos e passa 80% da vida sem apresentar nenhuma incapacidade. Como a esperança de vida livre de incapacidade é de 59 anos, a população viverá em média 15 anos com algum tipo de deficiência (BRASIL, 2012).

1.3 Inclusão Social

De acordo com Neri (2003), a necessidade de inclusão social é proveniente do fato de existirem excluídos, estes por sua vez, encontram dificuldades no acesso aos seus direitos devido a sua situação social, raça, religião, deficiência ou outros. O processo de inclusão, portanto, caracteriza-se pela igualdade de direitos básicos como saúde, educação, segurança, acesso a informação, etc.

A Política Nacional de Educação Especial (MEC/SEESP, 2007) tem como um dos principais objetivos a transversalidade da educação especial desde a educação infantil até a educação superior, estabelecendo a educação inclusiva como prioridade. Esta definição trouxe consigo algumas mudanças que permitiram um maior ingresso de pessoas com deficiência na educação básica, valorizando as diferenças ao mesmo tempo em que atende às necessidades educacionais de cada aluno, provendo uma perspectiva de integração.

De acordo com o Censo escolar de 2012, realizado pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas educacionais Anísio Teixeira (INEP, 2013), foram contabilizadas 820.433 matrículas nessa modalidade de ensino, o que representa um aumento de 9,1% quando comparado com o ano anterior. A Figura 6 apresenta a evolução no número de matrículas nas classes comuns e especiais no período de 2007 a 2012.

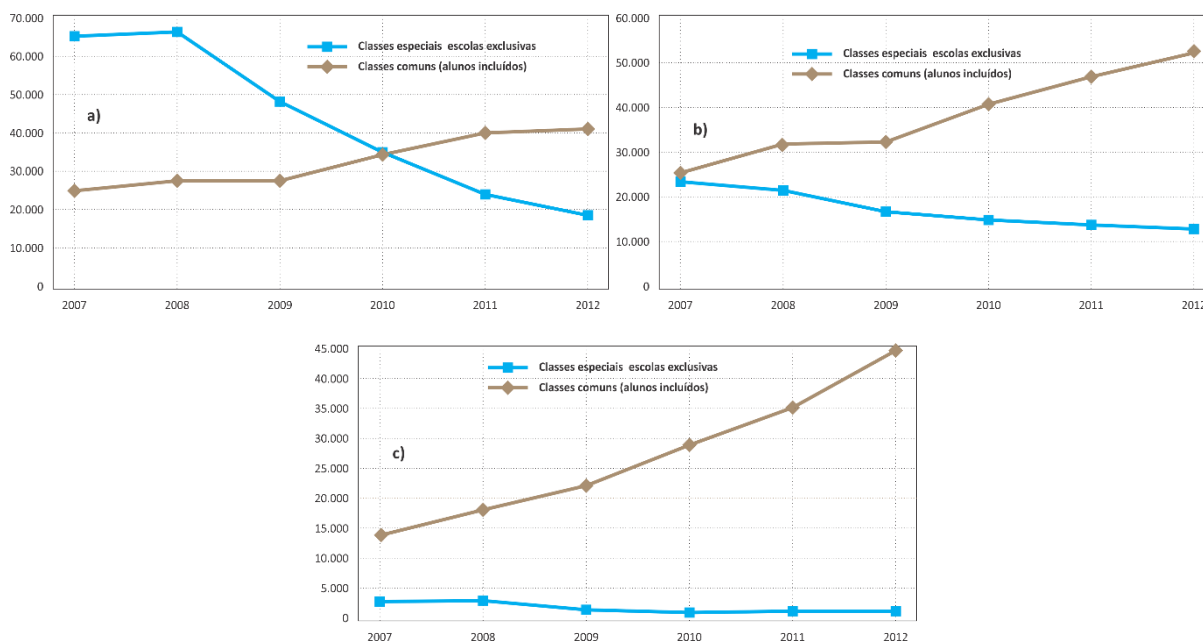


Figura 6. Educação Especial – Número de matrículas – Brasil 2007/2012. a) Educação Infantil; b) Ensino Fundamental; c) Ensino Médio. INEP (2013)

Avanços importantes alcançados pela atual política podem ser refletidos em números: 62,7% das matrículas da educação especial em 2007 estavam nas escolas públicas e 37,3% nas escolas privadas. Em 2012, esses números alcançaram 78,2% nas públicas e 21,8% nas escolas privadas, mostrando a efetivação da educação inclusiva e o empenho das redes de ensino em envidar esforços para organizar uma política pública universal e acessível às pessoas com deficiência (INEP, 2013). A Figura 7 apresenta a relação das matrículas de educação especial nas esferas públicas e privadas.

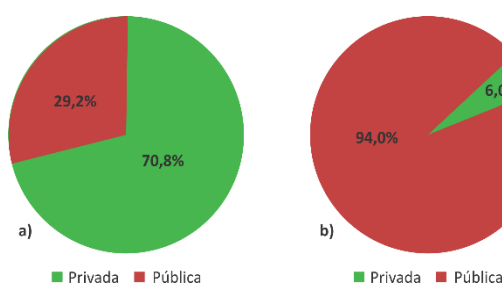


Figura 7. Educação Especial – Brasil – 2012. a) Matrículas em Classes Especiais e Escolas Exclusivas; b) Matrículas em Classes Comuns (Alunos Incluídos). INEP (2013).

Estes dados, além de apresentarem um aumento considerável nos índices de inclusão social, apresentam também uma tendência cada vez maior da inserção de pessoas com deficiência em redes de ensino regulares.

1.4 Sistema Braille.

O sistema Braille foi criado em 1825, pelo francês Louis Braille, para melhorar a qualidade de vida das pessoas com deficiência visual. Louis Braille havia perdido a visão de um de seus olhos aos três anos de idade enquanto brincava na marcenaria do pai. Anos mais tarde perderia a visão do outro olho devido à infecção causada pelo primeiro ferimento. Louis frequentou o Instituto Real para Cegos em Paris, fundada pelo Francês Valentin Haüy em 1784, sendo a primeira escola para cegos do mundo (SEESP/SEED/MEC, 2007, p.22).

Louis Braille baseou-se em uma invenção denominada sonografia ou código militar, desenvolvida por Charles Barbier, para criar o sistema Braille. O invento de Barbier havia sido criado com o intuito de possibilitar a comunicação noturna entre oficiais nas campanhas de guerra e era baseado em doze sinais, compreendendo linhas e pontos salientes, representando as sílabas na língua francesa.

A significação tátil dos pontos em relevo do invento de Barbier foi a base para a criação do sistema Braille, aplicável tanto na leitura como na escrita por pessoas cegas. O sistema Braille, utilizando seis pontos em relevo dispostos em duas colunas, possibilita a formação de 63 símbolos diferentes que são empregados em textos literários nos diversos idiomas, como também nas simbologias matemática e científica, na música e, recentemente, na informática (SEESP/MEC, 2006, p.63). Os seis pontos são dispostos em duas colunas, com três pontos em cada uma, formando um retângulo ou 'cela' de seis milímetros de altura por dois milímetros de largura. (GIL, 2000, p.43)

Em 1829, Louis Braille publicou o seu método Braille, que se tornou um código universal de leitura tátil. A Figura 8 apresenta o alfabeto Braille (GIL, 2000, p.43)

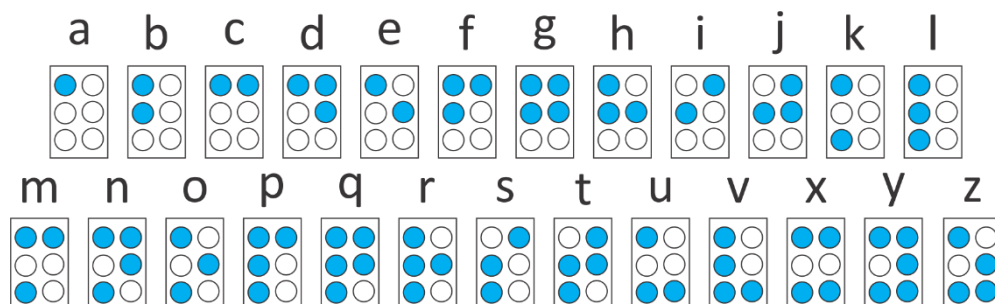


Figura 8. Alfabeto Braille. Cadernos da TV Escola (MEC)

O Ministro da Educação, através da Portaria n° 2.678 de 24 de Setembro de 2002, resolve: (CERQUEIRA *et al*, 2006)

Art. 1º: Aprovar o projeto da grafia Braille para a língua portuguesa e recomendar o seu uso em todo o território nacional, na forma da publicação Classificação Decimal Universal – CDU 376.352 deste Ministério, a partir de 01 de janeiro de 2003.

Art. 2º Colocar em vigência, por meio de seu órgão competente, a Secretaria de Educação Especial – SEESP, as disposições administrativas necessárias para dar cumprimento à presente portaria, especialmente no que concerne à difusão e à preparação de recursos humanos com vista à implantação da grafia Braille para a língua portuguesa em todo o território nacional.

1.5 Tecnologia Assistiva

1.5.1. Conceitos

A aquisição de uma deficiência em qualquer etapa da vida de um indivíduo gera impacto significativo sobre seu cotidiano, devido às limitações impostas sobre a estrutura e funções corporais, na maioria dos casos, dificultando a realização de atividades e a participação social (OMS, 2003). O desenvolvimento tecnológico tem atuado com o objetivo de diminuir este impacto, através do investimento na produção de recursos que compõe o rol de ações terapêuticas destinadas a atender à necessidade das pessoas com deficiência.

No Brasil, estes recursos têm sido denominados como Tecnologia Assistiva (VARELA & OLIVER, 2013). Segundo Bersch (2009), a TA identifica todo arsenal de recursos e serviços que contribuem para proporcionar ou ampliar habilidades funcionais de pessoas com deficiência e, conseqüentemente, promover vida independente e inclusão.

Através da Portaria nº 142 de 2006, o secretário especial dos direitos humanos, baseado no artigo 21 da lei nº 10.098 (BRASIL, 2000) e no artigo 66 do Decreto nº 5296 (BRASIL, 2004) instituiu o Comitê de Ajudas Técnicas (CAT), que tem como uma de suas responsabilidades definir o termo Tecnologia Assistiva.

Para elaborar um conceito que pudesse subsidiar as políticas públicas brasileiras, os membros do CAT fizeram uma profunda revisão no referencial teórico internacional, pesquisando os termos Tecnologia Assistiva, Tecnologia de Apoio, Ajudas Técnicas, *Ayudas Tecnicas*, *Assistive Technology* e *Adaptive Technology*.

Em Dezembro de 2007, através da ata da reunião do Comitê de Ajudas Técnicas – CAT/CORDE/SEDH/PR, define-se o termo Tecnologia Assistiva como (CAT, 2007):

“Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social.”

Sasaki (1996) já havia proposto a adaptação do termo *Assistive Technology* do inglês para o termo Tecnologia Assistiva em português devido a palavra não existir no vocabulário brasileiro e pela significância da palavra assistiva, que segundo o autor define algo que assiste, ajuda, auxilia.

Através da definição ampla do termo Tecnologia Assistiva, que não se limita apenas a produtos ou serviços, mas também a todas as formas de inclusão social, diversos trabalhos são publicados englobando inúmeras áreas do conhecimento, tais como educação, saúde, tecnologia, desenvolvimento de produtos, serviços, informática entre outros (STASSOLA et. al, 2013; BORG et. al, 2011; FERRONI *et al*, 2012; COWAN et. al, 2012).

1.5.2. A Legislação Brasileira e a TA.

De acordo com Bersch (2009), apesar de a legislação brasileira apontar para a utilização de todos os recursos disponíveis por parte das pessoas com deficiência, através da execução de seus direitos, a eficiência deste processo depende ainda da estruturação da TA como área do conhecimento em nosso país, havendo a necessidade de produção nacional de recursos de TA, bem como um maior incentivo à pesquisa.

Pode-se mencionar a promulgação do Decreto 3.298 de 1999 (BRASIL, 1999), que no artigo 19 trata do direito do cidadão brasileiro com deficiência às Ajudas Técnicas. Nele consta que:

“Consideram-se ajudas técnicas, para os efeitos deste Decreto, os elementos que permitem compensar uma ou mais limitações funcionais motoras, sensoriais ou mentais da pessoa portadora de deficiência, com o objetivo de permitir-lhe superar as barreiras da comunicação e da mobilidade e de possibilitar sua plena inclusão social”.

Parágrafo Único. São Ajudas Técnicas:

I – próteses auditivas, visuais e físicas;

II – órteses que favoreçam a adequação funcional;

III – equipamentos e elementos necessários à terapia e reabilitação da pessoa portadora de deficiência;

IV – equipamentos, maquinarias e utensílios de trabalho especialmente desenhados ou adaptados para uso por pessoa portadora de deficiência;

V – elementos de mobilidade, cuidado e higiene pessoal, necessários para facilitar a autonomia e a segurança da pessoa com deficiência;

VI – elementos especiais para facilitar a comunicação, a informação e a sinalização para pessoa com deficiência;

VII – equipamentos e material pedagógico especial para educação, capacitação e recreação da pessoa com deficiência;

VIII – adaptações ambientais e outras que garantam o acesso, a melhoria funcional e a autonomia pessoal;

IX – bolsas coletoras para os portadores de ostomia (LIMA, 2007).

Também o decreto 5.296 de 2002 (BRASIL, 2002) que dá prioridade de atendimento e estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas com deficiência ou com mobilidade reduzida, possui um capítulo específico sobre as Ajudas Técnicas (VII), onde descreve várias intenções governamentais na área da TA, além de referir a constituição do CAT/SEDH. Neste decreto encontramos que:

“Consideram-se ajudas técnicas os produtos, instrumentos, equipamentos ou tecnologia adaptados ou especialmente projetados para melhorar a funcionalidade de pessoas portadoras de deficiência, com habilidade reduzida favorecendo autonomia pessoal, total ou assistida”.

De acordo com Bersch (2009), apesar de a TA estar inserida na legislação (Ajudas Técnicas), as informações sobre quais recursos serão concedidos, como e a quem cada cidadão com deficiência deve recorrer para obtenção deste benefício que lhe é de direito ainda não são de conhecimento da maioria daqueles que poderiam se beneficiar.

1.5.3. A TA para inclusão social e escolar da pessoa com deficiência.

Para Neto & Rollemberg (2005), a aplicação da TA possibilita ao deficiente o desempenho de tarefas básicas do cotidiano, tais como mobilidade, comunicação, manutenção do lar, preparo de alimentos, incluindo ainda atividades de lazer e trabalho. Ainda segundo o autor, a autonomia é fundamental nos processos de inclusão e integração social.

Os avanços relacionados à obtenção da autonomia por parte das pessoas com deficiência estão, em grande parte, ligados aos avanços tecnológicos direcionados aos produtos de TA.

1.5.4. Produtos de TA para deficientes visuais

Há uma ampla gama de produtos de TA que visam a independência das pessoas com deficiência visual na realização de tarefas como consultar o relógio, medir a pressão arterial, verificar chamadas telefônicas, identificar cores, ler, escrever, entre outros. Estes dispositivos podem ser físicos como bengalas e relógios, ópticos como lupas e telulupas, *softwares* leitores de tela, textos ou ampliadores e *hardwares* como impressoras, linha Braille, entre outros.

Mesmo com o avanço das tecnologias de informação e comunicação, alguns recursos bem tradicionais, como o reglete, ainda são muito utilizados no aprendizado da grafia Braille (FAÇANHA *et al.*, 2012). Os regletes são dispositivos metálicos ou plásticos, constituídos de uma placa frisada ou com cavidades circulares rasas e de uma régua ou placa com retângulos vazados, para a produção manual de símbolos Braille, conforme apresentado na Figura 9. O reglete apresenta uma maneira prática de escrever textos em Braille, no entanto os relevos gerados através do puncionamento ficam dispostos na parte inferior do papel o que faz com que as letras devam ser escritas de maneira espelhada.



Figura 9. Reglete, punção e papel. Façanha *et al.* (2012)

Para o ensino da matemática existe o sorobã, que é um aparelho de cálculo usado há muitos anos no Japão em escolas, casas comerciais e também por engenheiros, como máquina de calcular de grande rapidez, de maneira simples. A Figura 10 apresenta um sorobã.



Figura 10 - Sorobã. FênixDV (2014)

Para auxiliar no aprendizado da linguagem Braille, existem também alfabetos em Braille que apresentam algumas teclas com letras e sua respectiva representação Braille, estes são confeccionados geralmente em madeira e tem tamanho ampliado. A Figura 11 apresenta um alfabeto Braille, comumente comercializado.



Figura 11 - Alfabeto Braille fabricado em madeira. Worldtoys (2014)

Abich & Molon (2011) propuseram a criação de um alfabeto Braille fabricado em material termoplástico, a fim de propiciar o acesso a informação por parte dos deficientes visuais, bem como auxiliar no processo de ensino-aprendizagem da grafia Braille. A Figura 12 apresenta o modelamento do produto.

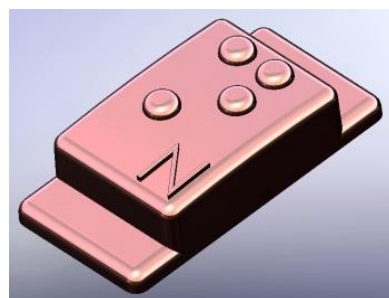


Figura 12. Alfabeto Braille. Abich & Molon (2011)

Além destes, ainda existem impressoras em Braille para produção de textos, células Braille que fazem a leitura de textos, lupas, leitores de tela, sintetizadores de voz, bengalas, balanças Braille, entre outros.

1.6 Seleção de materiais

O desenvolvimento de um produto é o processo pelo qual uma organização transforma as necessidades do mercado e possibilidades técnicas em subsídios úteis para a fabricação de um produto comercial (CLARK & FUJIMOTO, 1991). Cada estágio da concepção do produto exige escolhas sobre os materiais utilizados, bem como sobre o processo a ser utilizado na sua confecção (ASHBY, 2012). A Figura 13 apresenta a estratégia para escolha de materiais.

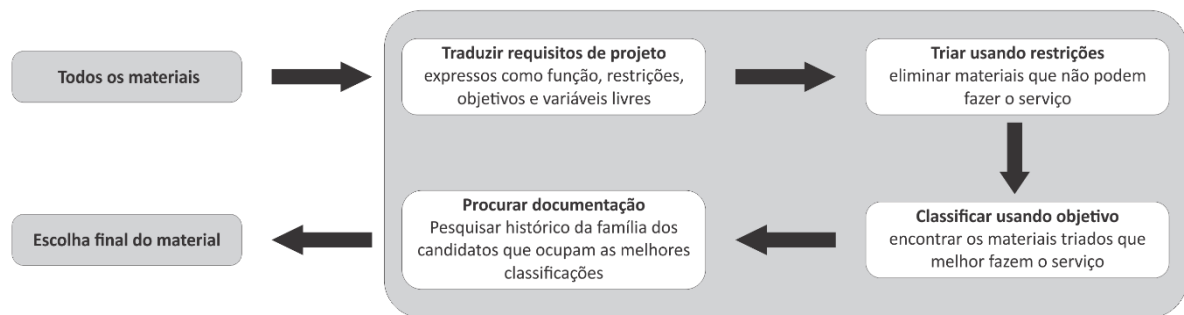


Figura 13. Estratégia para escolha de materiais. Ashby, 2012.

1.6.1. Materiais e o meio ambiente

Em um mundo com recursos naturais limitados e grandes problemas ambientais, um estilo de vida mais sustentável é, obviamente, de extrema importância (LJUNGBERG, 2005). Há uma disponibilidade praticamente infinita de possíveis materiais que podem ser utilizados na fabricação de produtos.

Durante muito tempo se observou os impactos ambientais causados pelo descarte dos produtos após o término de sua vida útil, porém, estes problemas estão diretamente relacionados a todas as fases do ciclo de vida de um produto, desde a extração do material, até seu descarte, o que torna mais complexa a avaliação da sustentabilidade envolvida na fabricação de um produto (BERKHOUT & SMITH, 1999).

1.7 Problemática dos Resíduos Plásticos

Com o constante aumento das atividades produtivas, uma maior utilização de recursos naturais acompanha um aumento no descarte de materiais nas cadeias produtivas, bem como

ao final da vida útil do produto (CHRISTOFF, 1996; GRAEDEL & ALLENBY, 2003). Mundialmente é gerado, em média, 1,3 bilhões de toneladas de resíduo sólido anualmente e este volume tende a aumentar para 2,2 bilhões nos próximos 10 anos (HOORNWEG & BHADA-TATA, 2012).

O Brasil, segundo a Abrelpe (2013), apresentou um crescimento de 1,3% da geração de resíduos sólidos no intervalo entre 2011 e 2012, um crescimento superior à taxa de crescimento populacional do mesmo período (IBGE, 2012). No entanto, os dados referentes à geração *per capita* apresentaram uma redução quando comparado aos anos anteriores. A Figura 14 apresenta o comparativo da geração de resíduo sólido urbano (RSU) no intervalo entre 2011 e 2012. A Abrelpe constatou, ainda, que cerca de 6 milhões de toneladas de RSU deixaram de ser coletadas no ano de 2012.

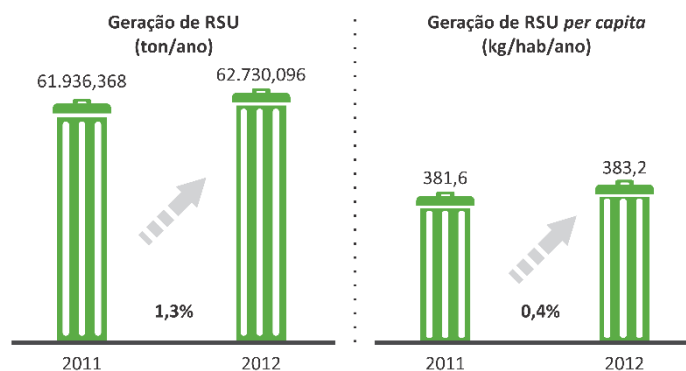


Figura 14. Comparativo geração de resíduos sólidos no Brasil entre 2011 e 2012. Abrelpe, 2012

Em 2012, o CEMPRE (Compromisso Empresarial Para a Reciclagem) elaborou uma pesquisa baseada nas cidades brasileiras com coleta seletiva, a fim de avaliar a composição geral dos resíduos. Esta pesquisa apontou que os resíduos plásticos correspondem a 15,6%, em peso, dos resíduos que passaram por coleta seletiva, atrás somente dos papéis e papelão, conforme a Figura 15.

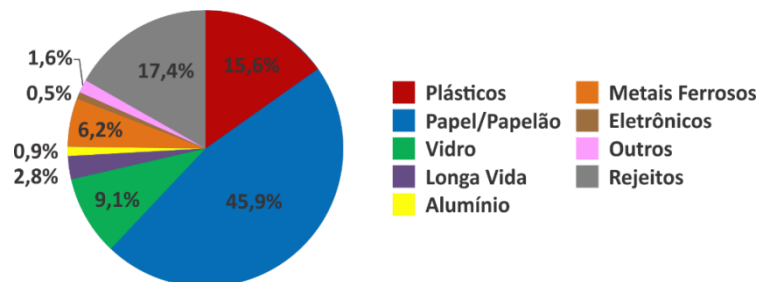


Figura 15. Média da composição gravimétrica da Coleta Seletiva no Brasil. Cempre (2012)

Dentre os resíduos plásticos mais encontrados na coleta seletiva encontram-se o PET, PP e PE, conforme representado pela Figura 16.

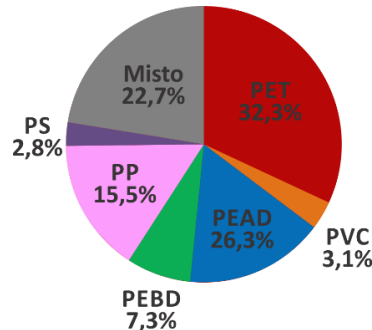


Figura 16. Perfil dos Plásticos. Cempre (2012)

Segundo Pinto (2012), a enorme flexibilidade das propriedades apresentadas pelos materiais plásticos é a principal responsável por sua ampla utilização, versatilidade e, por consequência, do aumento significativo de sua produção ao longo dos anos. A Figura 17 apresenta o crescimento da produção de plásticos nos últimos 60 anos.

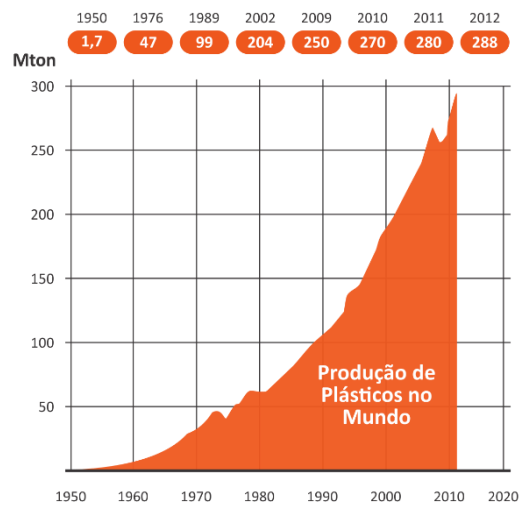


Figura 17. Crescimento da produção de Plástico no Mundo. Plastics Europe (2013)

Os plásticos têm ampla utilização em diversos setores, tais como construção civil, automotivo, agrícola, eletrônico. No entanto, o setor de embalagens é o que representa a maior utilização no planeta, representando cerca de 40% do volume total produzido (PLASTICS EUROPE, 2013). Estas embalagens têm curto período de uso, o que acelera seu descarte (CANDIAN & DIAS, 2009), tornando este setor, de acordo com Pinto (2012), o principal responsável pelo impacto ambiental resultante do pós-consumo dos materiais plásticos. A Figura 18 apresenta a demanda de plásticos na Europa por segmento.

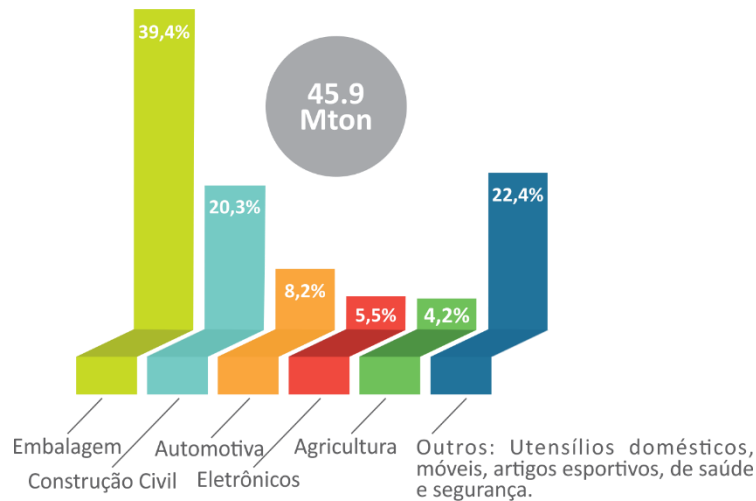


Figura 18. Demanda de plástico por segmento. Plastics Europe, 2013

Como a maioria dos plásticos apresenta pouca degradabilidade, após descartados permanecem por longos períodos no ambiente (XAVIER, et. al, 2006). Quando o descarte é inadequado, os problemas ambientais e sanitários são inevitáveis, isto devido ao fato da proliferação de animais transmissores de doenças, contaminação do solo e dos lençóis freáticos, bem como a alteração da vida selvagem (RIBEIRO & ROOKE, 2010; ROCHMAN & BROWNE, 2013). A Figura 19 apresenta o descarte inadequado e a vida selvagem afetada por consequência.



Figura 19. a) Descarte inadequado de embalagens plásticas; b) Vida selvagem afetada pelo resíduo plástico. Rochman & Browne, 2013.

1.8 Reciclagem de termoplásticos

A reciclagem de termoplásticos apresenta uma alternativa para redução dos recursos naturais utilizados na fabricação de novos produtos, bem como para evitar o descarte inadequado e todos os problemas gerados por esta prática.

A NBR 15.792 (ABNT, 2010) define o processo de reciclagem como a conversão de produtos pós-consumo e/ou aparas do processo produtivo, coletadas e separadas, em um produto ou matéria-prima secundária.

Segundo a Abiplast (2012), o Brasil vem avançando na produção de material reciclado, produzindo em 2011 aproximadamente 1 milhão de toneladas de material plástico reciclado. A Figura 20 apresenta o avanço da produção de material reciclado ao longo dos últimos anos.

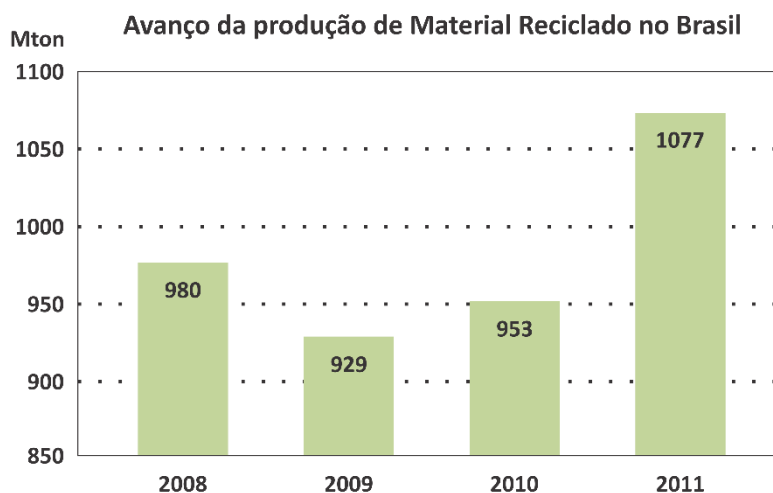


Figura 20. Produção do material reciclado no Brasil. Abiplast, 2012.

Além disso, o índice de reciclagem mecânica versus resíduo plástico gerado chegou a 21,7%, o que coloca o Brasil na frente de países como França e Portugal (ABIPLAST, 2012).

1.8.1. Coleta e separação

As etapas de coleta e separação dos resíduos termoplásticos são de extrema importância para a qualidade do material reciclado, já que a mistura e possível contaminação deste por tipos de plásticos incompatíveis entre si, pode prejudicar a qualidade do produto final (CETESB:SINDIPLAST, 2011). Nesse contexto, o bom desempenho dos processos de reciclagem está diretamente ligado ao trabalho dos catadores, visto que a coleta seletiva não atua em todas as cidades do país (LIMA *et al*, 2011; CEMPRE, 2012). Em função da falta de

mão de obra qualificada, empresas e equipamentos, vários problemas no material reciclado são decorrentes destas etapas iniciais (MACIEL, 2001).

Um dos principais problemas encontrados no processo de separação dos resíduos plásticos pós-consumo é a grande variedade e semelhanças entre eles. Com o intuito de minimizar este problema, a NBR 13.230/1994 (ABNT, 1994) estabelece uma série de símbolos que especificam o material utilizado na confecção do produto. Estes símbolos são mostrados na Figura 21.

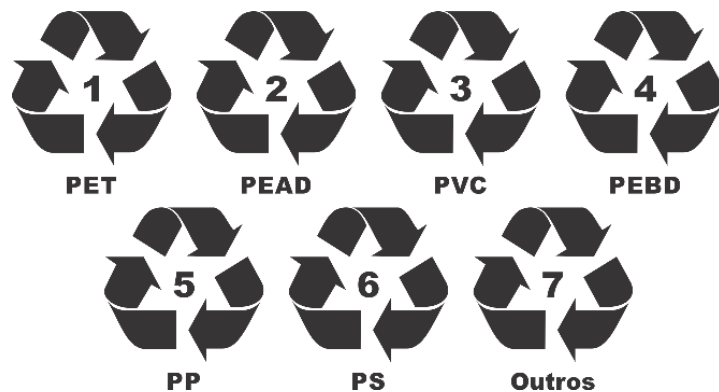


Figura 21. Simbologia para materiais poliméricos. ABNT, 1994.

Devido a sujeira, a desintegração das embalagens e até mesmo o volume de material coletado, a técnica de separação pelo símbolo torna-se inviável, necessitando outras técnicas de separação. Pode-se aplicar testes simples, de rápida e fácil realização, a fim de avaliar a natureza da amostra. São exemplos destes testes: verificação do odor, estimativa da densidade e teste de Beilstein, que consiste em verificar a presença de halogênios através da coloração da chama gerada pelo polímero em contato com um fio de cobre aquecido (CANEVAROLO, 2002). A Figura 22 apresenta um método de separação por densidade.

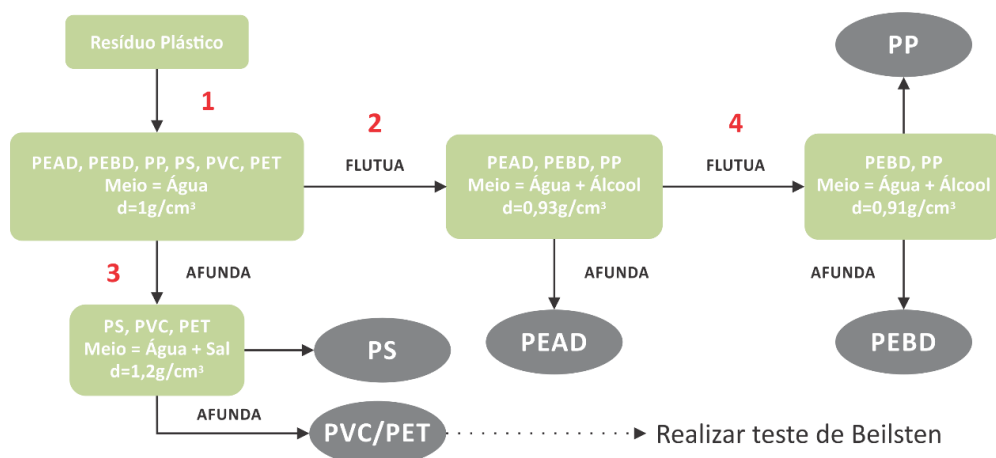


Figura 22. Separação por ensaio de densidade. Piva & Wiebeck, 2004.

Estas técnicas simples, no entanto, não são eficientes para os casos de grandes quantidades, inviabilizando a utilização das mesmas em escala industrial de reciclagem (PIVA & WIEBECK, 2004). Nestes casos, faz-se necessário a utilização de técnicas mais sofisticadas, tais como fluorescência de raio x, separação por polarização, flotação, entre outras (SHENT et. al, 1999; HUI et. al, 2012).

1.8.2. Processos de reciclagem de termoplásticos

Os resíduos plásticos pós-consumo podem ser reciclados sob três processos: Reciclagem mecânica, reciclagem química e reciclagem energética, sendo a mecânica o processo mais simples, de menor custo e de mais fácil aplicação no Brasil (ESPÍNDOLA, 2004). Já a ASTM D-5033-00 (2007), define os processos de reciclagem como:

Reciclagem primária (mecânica): Transformação da sucata ou aparas do processo industrial num produto com características semelhantes ao original.

Reciclagem secundária: Processamento do refugo (material descartado ou pós-consumo) em um produto que tem características diferentes do produto original.

Reciclagem terciária (química): Produção de produtos químicos básicos ou combustíveis a partir da sucata de produtos plásticos ou dos resíduos sólidos urbanos.

Reciclagem quaternária (energética): Recuperação útil do conteúdo de energia do refugo plástico, para uso como combustível na produção de vapor, eletricidade, entre outros.

O Mercado para os produtos plásticos reciclados está em franca expansão, pois existem muitos artefatos que podem ser fabricados, com grandes espessuras e que podem substituir materiais como madeira e vidro. O importante é definir quais as propriedades predominantes que se pode obter com a reciclagem mecânica de plásticos (ESPÍNDOLA, 2004).

1.8.3. Logística reversa e a reciclagem

Logística é a área responsável por todo o percurso produtivo, desde a aquisição da matéria prima até o ponto de consumo final. Desta forma, compreende o estabelecimento das relações entre fornecedores, fabricantes, revendedores, além da entrega de bens aos consumidores (SILVA & NETO, 2011).

De acordo com os preceitos da logística, cada atividade deve ser interpretada como contribuinte do processo de agregação de valor ao produto, contudo, também agrega-se valor

quando consumidores estão dispostos a pagar, por um produto ou serviço, mais do que o custo de colocá-lo ao alcance deles (BALLOU, 2006).

O termo logística reversa (LR) ainda é bastante genérico e significa, em seu sentido mais amplo, todas as atividades relacionadas à recuperação ou reutilização de produtos e materiais, evitando descartes desnecessários e assegurando uma recuperação sustentável (SHIBAO et. al, 2010; LEITE, 2003).

A Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, define a logística reversa como:

[...] instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Em termos práticos a LR torna-se responsável pela redução dos impactos ambientais causados pelo descarte dos produtos, bem como pela redução dos recursos utilizados ao longo do processo produtivo. Desta forma, a LR está intimamente ligada às questões legais, ambientais e econômicas, podendo representar vantagem competitiva ao mesmo tempo em que prioriza a sustentabilidade (HERNÁNDEZ et. al, 2012; SHIBAO *et al*, 2010; CARTER & ELLRAM, 1998).

No Brasil diversas pesquisas vêm sendo realizadas a fim de aplicar os conceitos de LR através da reciclagem e, por consequência, reduzir os impactos causados pelos processos produtivos, atender a legislação brasileira e ainda obter vantagem competitiva (NUNES et. al, 2009; LAGARINHOS & TENÓRIO, 2013; GIANNETTI et. al, 2013).

1.9 Termoplásticos convencionais

Os termoplásticos convencionais recebem esta classificação por serem polímeros de baixo custo, baixo nível de exigência mecânica, alta produção, facilidade de processamento, entre outros. A produção destes termoplásticos somados corresponde a aproximadamente 90% da produção total de polímeros no mundo. Como exemplo temos as poliolefinas (PEAD, PEBD e PP), o poliestireno (PS) e o policloreto de vinila (PVC) (CANEVAROLO, 2006). Por consequência da quantidade produzida também representam a maior parte do resíduo plástico urbano gerado (CEMPRE, 2012).

Neste trabalho serão utilizadas duas resinas termoplásticas através dos seus resíduos pós-uso, com enfoque no polietileno de alta densidade (PEAD) e no poliestireno de alto impacto (PSAI).

1.9.1. Polietilenos

O polietileno (PE) é um polímero semicristalino, fabricado sob três formas: PEBD (baixa densidade $\approx 0,92\text{g/cm}^3$), PEAD (alta densidade $\approx 0,95\text{g/cm}^3$) e, mais recentemente PELBD (baixa densidade linear $\approx 0,92\text{-}0,95\text{g/cm}^3$) (VAN DER VEGT, 2005). Todos os tipos perdem suas propriedades a altas temperaturas e têm temperaturas de fusão (T_m) entre 105 e 130°C. Suas principais aplicações são: filmes para embalagem, sacos e sacolas plásticas, baldes, embalagens, bombonas, garrafas, entre outras (COUTINHO et. al, 2003; VAN DER VEGT, 2005).

São polímeros olefínicos obtidos através da polimerização do etileno (FELDMAN & BARBALATA, 1996). A polimerização ocorre sob condições específicas de temperatura e pressão e na presença de catalisadores. As macromoléculas apresentam ligação intermolecular tipo forças de Van der Walls (MUNARO, 2007). A Figura 23 apresenta a polimerização do etileno, dando origem a unidade repetitiva (mero) do polietileno.

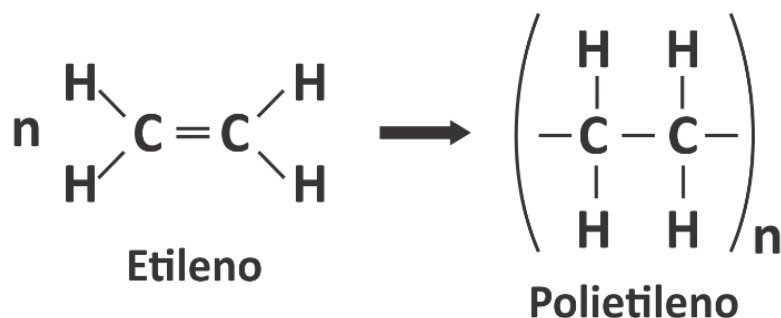


Figura 23. Reação de polimerização do eteno. Munaro, 2007.

As propriedades do polietileno estão diretamente relacionadas a ramificação (grau de cristalinidade) obtida no processo de polimerização. Um maior grau de cristalinidade implica em maior densidade, aumento na opacidade, resistência a tração, resistência ao cisalhamento, resistência a produtos químicos e maior ponto de fusão. Por outro lado, a permeabilidade a líquidos e gases, bem como a ductilidade, diminuem com o aumento da cristalinidade (EBEWELE, 1996). A Figura 24 apresenta esquematicamente alguns tipos de polietileno.



Figura 24. Representação esquemática de alguns tipos de Polietileno. Munaro, 2007.

Existem diversas aplicações comuns a ambos os tipos de polietileno, porém, o PEAD é mais indicado para aplicações em que rigidez, resistência mecânica e a solventes são desejadas, enquanto o PEBD é indicado para aplicações onde flexibilidade e transparência são requeridas (COUTINHO et. al, 2003). A Tabela 1 apresenta algumas características de dois tipos de PE.

Tabela 1 - Características do PE. Coutinho, 2003.

	POLIETILENOS			
	PEBD		PEAD	
Polimerização	radicais livres		Coordenação	
Pressão	Alta	1000-3000atm.	Baixa	1-30atm.
Temperatura	Alta	100-300°C	Baixa	50-100°C
Cadeia	Ramificada		Linear	
Densidade	Baixa	0,91-0,94g/cm ³	Alta	0,94-0,97cm ³
Cristalinidade	Baixa	50-70%	Alta	até 95%
Ponto de fusão	Baixo	110-125°C	Alto	130-135°C

A escolha por uma das classes de polietileno pode ser feita, também, através da análise do comportamento mecânico do polímero em função de sua taxa de cristalinidade. A Tabela 2 apresenta um comparativo entre algumas propriedades mecânicas do PEAD e PEBD, bem como um diagrama tensão *versus* deformação dessas duas classes de polietileno.

Tabela 2 - Comparativo entre as propriedades mecânicas do PEAD e PEBD. Canevarolo, 2006.

PROPRIEDADE	PEBD	PEAD
Densidade (g/cm ³)	0,91 - 0,94	0,94 - 0,97
Resistência à tração (Mpa)	8,3 - 24,1	21,4 - 37,9
Módulo de Flexão (Gpa)	0,41 - 0,73	0,69 - 1,80
Dureza Rockwell D	50 - 60	60 - 70

No ano de 2012, as resinas de PEAD e PEBD, somadas, representaram 29% de toda a resina consumida no Brasil, superando a utilização de PP que atingiu 27% (ABIPLAST, 2012).

1.9.2. Polímeros estirênicos

Os polímeros ou copolímeros estirênicos são obtidos através da polimerização do estireno, dentre os quais podemos citar o poliestireno (PS), copolímero de estireno-acrilonitrila (SAN), terpolímero de estireno-butadieno-acrilonitrila (ABS), copolímero aleatório de butadieno-estireno (SBR), copolímero em bloco de butadieno-estireno (SBS) ou o poliestireno homopolímero na forma expandida (EPS), conhecido como isopor (CANEVAROLO, 2006).

Dentre os polímeros estirênicos, o PS é o mais utilizado, devido ao seu baixo custo, facilidade de processamento e boas propriedades mecânicas. Apresenta estrutura amorfa, dureza elevada e temperatura de amolecimento próxima de 90°C, pode ter sua resistência ao impacto melhorada pela adição de polímeros termofixos (na maioria dos casos, borrachas butadiênicas), porém como consequência reduz a rigidez. PS não modificado é largamente utilizado como espuma para embalagens, bem como para isolamento térmico. PSAI é utilizado para copos de café, utensílios domésticos, entre outros (VAN DER VEGT, 2005; CANEVAROLO, 2006; EBEWELE, 1996).

O PS é um polímero vinílico, composto por uma cadeia hidrocarbônica com um grupo lateral fenila. Sua produção se dá através da polimerização, via radicais livres, do estireno (BILLMEYER Jr, 1984). A Figura 25 apresenta sua fórmula estrutural.

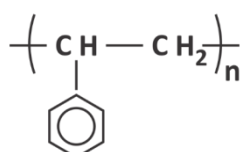


Figura 25. Fórmula estrutural do poliestireno. Billmeyer Jr, 1984.

A polimerização vinílica via radicais livres dos monômeros é ativada por um iniciador, como por exemplo o peróxido de benzoila, podendo ser representada de forma simplificada pelo esquema apresentado na Figura 26 (SARKIS, 2009).

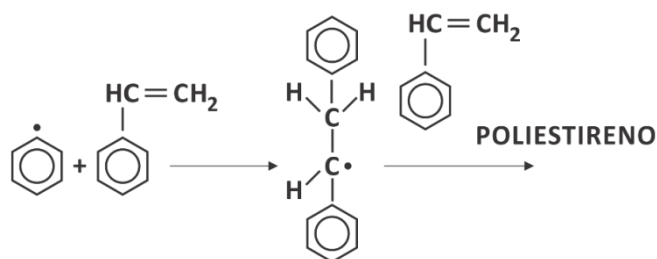


Figura 26. Polimerização do estireno. Sarkis, 2009.

O processo de polimerização por radicais livres é responsável pela obtenção do PS atático, onde o grupo fenila encontra-se disposto de forma aleatória ao longo da cadeia polimérica, porém o PS pode ainda ser obtido sob a forma isotática e sindiotática, nas quais o grupo fenila está disposto de forma ordenada ao longo da cadeia (CANEVAROLO, 2006). A Figura 27 representa a estrutura da estereorregularidade do PS e suas respectivas propriedades térmicas.

	PS Atático	PS Isotático	PS Sindiotático
	Amorfo	Cristalino	Cristalino
Velocidade de Cristalização	-	Lenta	Rápida
Tg(°C)	100	99	100
Tm(°C)	-	240	270

Figura 27. Estereorregularidade do PS e suas propriedades térmicas. Forte et. al, 1996.

Esta variação na configuração das cadeias do PS altera de forma considerável suas propriedades. O PS atático (aPS) ou convencional é de fácil obtenção e, portanto, comumente utilizado, possui excelentes propriedades mecânicas, porém sua natureza amorfa limita sua utilização sob temperaturas elevadas ou no contato com solvente.

O PS isotático (iPS), sintetizado por Natta em 1955 através de catalisadores tipo Ziegler-Natta, possui alto ponto de fusão, podendo ser utilizado sob altas temperaturas, entretanto tem baixa velocidade de cristalização e apresentou industrialização inviável através desses catalisadores. Já o PS sindiotático (sPS) possui ponto de fusão mais elevado, da ordem de

270°C, tem maior velocidade de cristalização e pode ser utilizado em aplicações onde se requer alta resistência ao calor (FORTE et. al, 1996).

O PS possui larga utilização, apesar de algumas deficiências quanto a fragilidade, instabilidade em ambientes externos sob radiação UV, ou até mesmo por sua baixa resistência a solventes (BILLMEYER Jr, 1984). Estas deficiências podem ser compensadas através de formulações mais apropriadas ou por mistura com outros polímeros, como no caso do poliestireno de alto impacto (PSAI) (VERONESE, 2003).

1.10 Poliestireno de alto impacto (PSAI)

O poliestireno de alto impacto (PSAI) é uma blenda imiscível de poliestireno (PS) e polibutadieno (PB), obtido através da polimerização em emulsão do monômero de estireno contendo partículas dispersas de polibutadieno ou estireno-butadieno (SBR) (De PAOLI, 2008; EBEWELE, 1996). O produto resultante consiste de uma matriz de poliestireno vítreo no qual pequenos domínios de polibutadieno estão dispersos. A Figura 28 ilustra a morfologia do PSAI.



Figura 28. Ilustração da morfologia do PSAI (Fase contínua: PS, fase dispersa: PB). Sarkis, 2009

A resistência ao impacto supera a do homopolímero não tenacificado, porém depende do tamanho, da concentração e da distribuição das partículas de polibutadieno (ROVERE et. al, 2008; GRASSI et. al, 2001; EBEWELE, 1996).

Durante a polimerização ocorre a grafitação do PS nas cadeias de PB através da abstração dos hidrogênios alílicos pelos radicais, seguida da adição de estireno ou de cadeias de PS em crescimento no radical. A grafitação permite que duas fases poliméricas imiscíveis tornem-se parcialmente compatíveis (VERONESE, 2003; GRASSI, 2001). A Figura 29 apresenta este processo de forma esquemática.

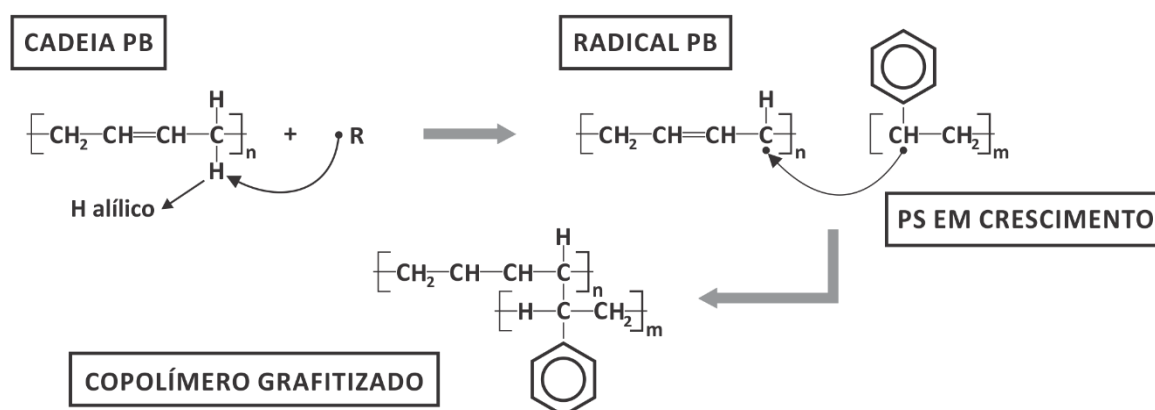


Figura 29. Mecanismo de formação do copolímero grafitizado PB-PS. Grassi, 2001.

Através da adição de PB, o PS deixa de ser transparente e passa a ter uma coloração branca. A introdução de uma fase elastomérica é responsável pela relaxação do material em nível molecular e consequentemente pela diminuição de seu módulo elástico, o que significa que o material tenacificado deforma-se plasticamente em tensões mais baixas do que o homopolímero puro (VERONESE, 2003; ASALETHA et. al, 1999). A Tabela 3 apresenta um comparativo entre algumas propriedades do PS e PSAI.

Tabela 3 - Propriedades do PS e PSAI. Veronese, 2003; Canevarolo, 2006.

PROPRIEDADE	PSAI	PS
Densidade (g/cm ³)	0,99 - 1,27	1,04 - 1,10
Absorção de água (%)	0 - 0,2	0 - 0,01
Tensão máxima	14 - 48	25 - 69
Módulo Elástico	1,10 - 3,03	1,79 - 4,00
Temperatura máxima de serviço (°C)	67 - 104	69 - 91

Há uma ampla gama de possibilidades de utilização para o PSAI, a maioria relacionada a produtos que exigem maior resistência ao impacto ou boa tenacidade. Podemos citar algumas aplicações em utensílios domésticos, copos, pratos, talheres, potes de iogurte, entre outros.

Existe, ainda, a necessidade de maiores estudos relacionados aos processos de grafitização do PSAI visando uma otimização de suas propriedades e/ou redução dos custos de produção, algumas pesquisas buscam atingir este objetivo através da utilização de outros elastômeros, controle de variáveis do processo, simulação dinâmica, entre outros (VELÁSQUEZ et. al, 2013; CUNHA et. al, 2013; ZHU et. al, 2013; ASSASSA & MARQUARDT, 2014).

1.11 Blendas Poliméricas

Blendas poliméricas têm sido constantemente utilizadas na indústria moderna, na maioria das vezes com o objetivo de combinar propriedades específicas de alguns polímeros em um único produto, bem como para reduzir custos de processamento. Inúmeras pesquisas têm avaliado a utilização de blendas poliméricas nas mais variadas áreas, tais como, biomateriais, reciclagem de resíduos poliméricos, instalações elétricas, entre outras (LIPATOV, 2002; SIONKOWSKA, 2011; MUNARO, 2007; SOTO et. al, 2008; GONELLA, 2001).

Segundo Ajji & Utracki (1996), pode-se definir blendas poliméricas como misturas entre dois ou mais polímeros ou copolímeros, compreendendo valores acima de 2% em massa do polímero de menor concentração, sendo a miscibilidade entre os componentes um fator de extrema importância para obtenção das propriedades desejadas (SIONKOWSKA, 2003).

Munaro (2007) define uma blenda completamente miscível como aquela cujos segmentos moleculares dos componentes poliméricos se misturam intimamente, não havendo qualquer segregação entre moléculas diferentes, ou seja, não ocorre separação de fase. Em geral a completa miscibilidade é praticamente inatingível, pois depende de muitas variáveis, dentre elas a composição, parâmetros moleculares (conformação, configuração, massa e distribuição de massa molecular), temperatura, pressão, entre outros (AJJI & UTRACKI, 1996). As misturas realizadas entre polímeros imiscíveis apresentam duas fases separadas e certa adesão interfacial, entretanto, apresentam melhor integração entre as propriedades de ambos os polímeros do que as blendas completamente miscíveis, que apresentam uma única fase com propriedades distintas (GONELLA, 2001).

A adesão interfacial entre as fases influencia diretamente nas propriedades finais e depende dos polímeros e condições de processamento (XANTHOS & DAGLI, 1991; TRIACCA et. al, 1991; MACAÚBAS & DERMAQUETTE, 2001). A Figura 30 representa de forma esquemática a morfologia das blendas poliméricas.

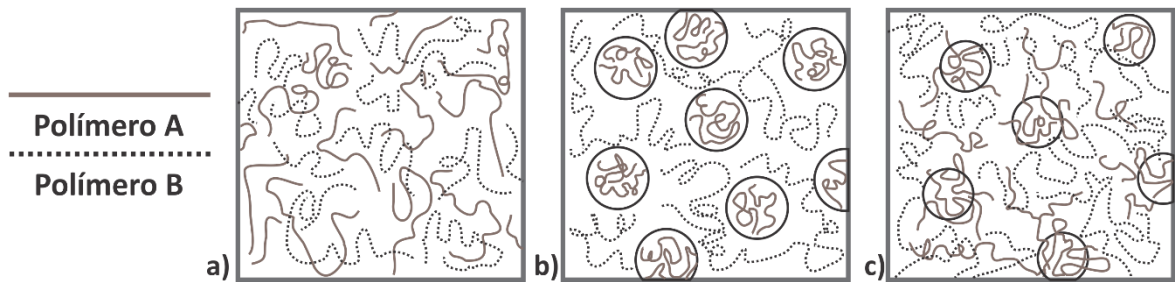


Figura 30. Representação esquemática da morfologia de blendas poliméricas. a) Blenda miscível; b) Blenda imiscível e c) Blenda parcialmente miscível. Fox & Allen, 1985.

Pode-se também avaliar as blendas sob o ponto de vista da compatibilidade existente entre os polímeros nela presentes. A compatibilidade não deve ser confundida com miscibilidade, pois se refere a possibilidade de mistura entre os componentes, em diversos graus e morfologias. Desta forma as propriedades de um dado polímero podem ser melhoradas através da adição de outro, caso possuam compatibilidade. A incompatibilidade fica evidenciada caso as propriedades finais da blenda sejam inferiores às dos componentes individuais (MUNARO, 2007; MACAÚBAS & DEMARQUETTE, 1999).

As blendas poliméricas miscíveis podem apresentar propriedades intermediárias entre as propriedades dos polímeros individuais, no entanto, as blendas imiscíveis, compatíveis e incompatíveis podem proporcionar variações positivas ou negativas nestas mesmas propriedades conforme mostrado na Figura 31 (MUNARO, 2007).

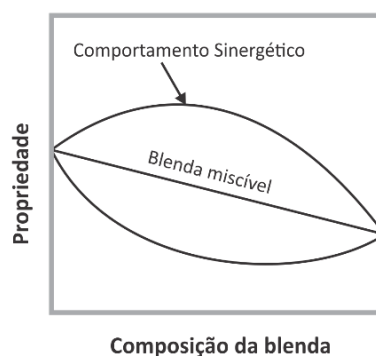


Figura 31. Representação esquemática dos possíveis comportamentos das blendas. Munaro, 2007

Nas blendas imiscíveis, geralmente, há a necessidade da utilização de algum agente compatibilizante para melhorar seu desempenho. Dentre as vantagens da utilização pode-se citar a redução da tensão interfacial entre as fases, o que proporciona maior adesão, dispersão mais fina e, por consequência, melhores propriedades mecânicas (GONELLA, 2001).

1.11.1. Compatibilização das blendas poliméricas

A compatibilização pode ser compreendida como a conversão de uma mistura multifásica de polímeros com propriedades físicas e químicas limitadas e/ou heterogêneas em um produto com propriedades finais superiores (TEDESCO, 2001; CAMPOY et. al, 1995).

Diversos estudos vêm sendo realizados a fim de melhorar as propriedades de blendas poliméricas através da adição de agentes compatibilizantes (IHEMOUCHEN et. al, 2013; SALMAH et. al, 2014; WANG et. al, 2012; YOU et. al, 2014; WANG et. al, 2014; SONG et. al, 2012).

A compatibilização de polímeros imiscíveis, geralmente, é promovida através de copolímeros em blocos ou grafitizados, que possuem segmentos capazes de interações específicas e/ou reações químicas com os componentes da blenda. A mistura compatível é obtida quando são misturados polímeros que possuam segmentos com estruturas semelhantes (TEDESCO, 2001; GONELLA, 2001; AJJI & UTRACKI, 1996). A Figura 32 apresenta uma demonstração esquemática da inserção do agente compatibilizante nas blendas poliméricas.

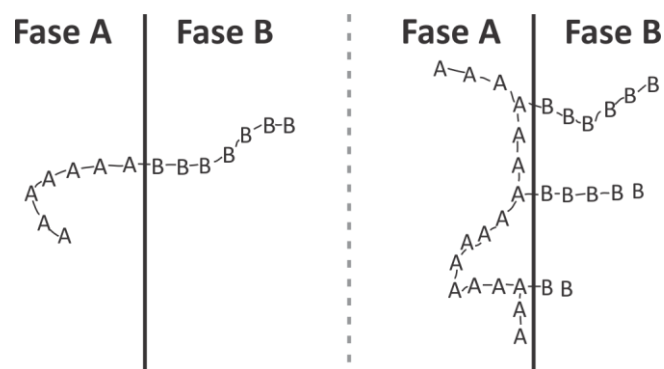


Figura 32. Inserção do agente compatibilizante nas fases A e B da blenda polimérica: a) copolímero em bloco e b) copolímero grafitizado. Fox & Allen, 1985.

Através da utilização de agentes compatibilizantes em blendas fabricadas a partir de polímeros pós-consumo é possível ampliar a gama de aplicações para estes. Desta forma, o resíduo plástico anteriormente descartado pode tornar-se um novo produto com características e propriedades úteis e, em alguns casos, aplicações mais nobres do que o produto original.

1.12 Reprocessamento de polímeros pós-consumo

Um dos grandes problemas quanto a reutilização dos resíduos termoplásticos pós-consumo em processos de fabricação é sua heterogeneidade, devido a presença de diferentes tipos de

polímeros e, na maioria das vezes, contaminados por resíduos orgânicos (BISIO & XANTHOS, 1994; BRANDRUP, 1996).

No entanto, mesmo não apresentando alta pureza os termoplásticos ainda podem ser reprocessados termicamente, sob condições de processamento similares as do material virgem (ESPÍNDOLA, 2004).

Para processar plásticos misturados e sujos, alguns processos foram criados e processos convencionais foram modificados. Pode-se citar a extrusão, moldagem por injeção, moldagem por transferência e moldagem sinterizada. Os plásticos reciclados podem ser pintados, laminados, pigmentados ou revestidos para melhorar a qualidade da superfície e sua aparência (BRANDRUP, 1996).

1.12.1. Processo de extrusão de materiais termoplásticos

O processo de extrusão é largamente utilizado na indústria de transformação de termoplásticos, tendo como principais funções transportar, fundir, misturar e dar forma ao polímero (TADMOR & GOGOS, 1979; COAQUIRA, 2008). A extrusora é o equipamento utilizado no processo de extrusão, tendo a função de transportar, através de uma matriz, um fluxo de material em estado plástico com propriedades homogêneas em termos de composição, de temperatura, de viscosidade, de pressão, entre outros (VIGNOL, 2005).

1.12.2. Processo de injeção de materiais termoplásticos

A moldagem por injeção é o processo ideal para fabricação em massa de produtos plásticos com geometria complexa e que requerem precisão dimensional (CHANGYU et. al, 2007). Neste processo o polímero aquecido, em estado plástico, é forçado através da pressão de injeção a preencher uma ou mais cavidades com o formato do produto desejado, e lá permanecer até sua completa solidificação. De forma genérica, pode-se dividir o processo em três etapas: Preenchimento, pós-preenchimento (compreende a etapa de recalque e o primeiro estágio do resfriamento) e abertura do molde (segunda etapa do resfriamento). Todas essas etapas precisam ser devidamente controladas a fim de obter a qualidade esperada (FARSHI et. al, 2011; TSAI, 2010; JANSEN et. al, 1998).

Nos trabalhos envolvendo reciclagem de termoplásticos a extrusão é comumente utilizada com um processo primário para compatibilização e homogeneização do material ou blendas, bem como para a fabricação de *pellets*, que facilitam o processo de injeção (AVILA & DUARTE, 2002; RAMIRO et. al, 2006; YU et. al, 2006)

1.12.3. Técnicas de planejamento e análise de experimentos

A aplicação de análises estatísticas através de técnicas de planejamento e análise de experimentos (*Design of experiments*, DOE), é constantemente utilizada em processos produtivos a fim de minimizar a quantidade de experimentos necessários na avaliação da significância de determinadas causas em um efeito (DOWLATSHAHI, 2004). Em processos, cujas variáveis possam ser controladas, é possível identificar condições de processamento ideais, bem como avaliar a influência de parâmetros conhecidos e mensuráveis nas propriedades do produto final (GALDAMEZ & CARPINETTI, 2004; DOWLATSHAHI, 2004). Algumas técnicas de planejamento e análises de experimentos podem ser aplicadas aos processos de reciclagem e reprocessamento do material reciclado (GIRALDI et al, 2005; OZCELIK & ERZURUMLU, 2006).

Em geral, experimentos são realizados para estudar o desempenho dos processos. De acordo com Montgomery (2012), um processo pode ser visto como uma combinação de máquinas, métodos, pessoas e outros recursos que transformam certa entrada (geralmente um material), em uma saída (produto) que tem uma ou mais respostas observáveis, conforme mostrado na Figura 33.

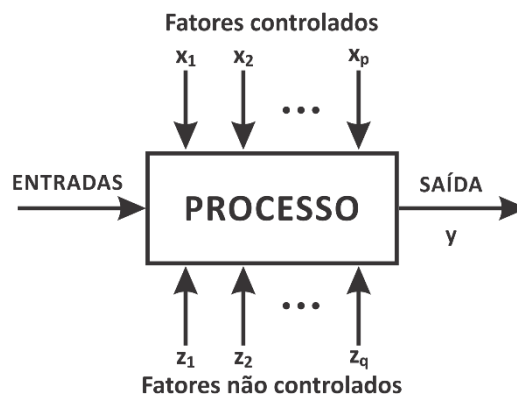


Figura 33. Modelo geral de um processo. Montgomery, 2012.

Dentro de um processo pode-se observar a existência de dois tipos de fatores: Os controlados e os não controlados, ficando a cargo do experimento determinar (MONTGOMERY, 2012):

1. Quais os fatores têm maior influência sobre a resposta observada (y).
2. Qual o ajuste dos fatores controlados (x) para que a resposta (y) fique próxima ao valor esperado.

3. Qual ajuste das variáveis controladas (x) exerce maior influência na redução da variabilidade.
4. Qual o ajuste das variáveis controladas (x) para que os efeitos dos fatores não controlados (z) sejam minimizados.

Nos processos de reciclagem de resíduos poliméricos existem diversos fatores não controlados que influenciam diretamente a qualidade do produto final, dentre eles a mistura de diferentes tipos de polímeros, pigmentação, tipo de resíduo (filmes, embalagens, aparas de processo), entre outros. No entanto, o número de fatores controlados se assemelha ao de qualquer processo de transformação (ESPÍNDOLA, 2004; GIRALDI et. al, 2005). Este fato evidencia a possibilidade de utilização do DOE para otimização das propriedades do produto final. A demonstração gráfica de um processo de injeção, que utiliza matéria prima reciclada, sob a perspectiva do DOE pode ser observada na Figura 34.

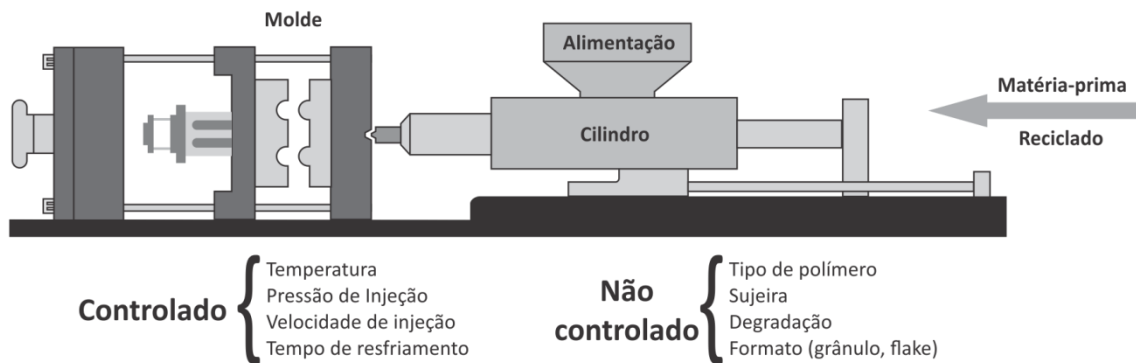


Figura 34. Fatores controlados e não controlados em um processo de injeção.

Desta forma, através da utilização de técnicas de planejamento e análise dos experimentos tais como, Taguchi, ANOVA (*Analysis of variance*), método de elementos finitos (*FEM*), RSM (*Response surface methodology*), ANN (*Artificial neural network*), pode-se otimizar o processamento de resíduos termoplásticos, conferir melhores propriedades ao produto final e aumentar a viabilidade do processo (OZCELIK & ERZURUMLU, 2005; MEHAT et. al, 2013; CHENG et. al, 2013; GU & KOKTA, 2010).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Obter uma blenda polimérica a partir de resíduos de PSAI e PEAD, utilizando SEBS como agente compatibilizante, para fabricação de um produto de Tecnologia Assistiva.

2.2 Objetivos específicos

Mensurar algumas propriedades mecânicas, físicas e térmicas da blenda polimérica obtida.

Realizar análise estatística a fim de avaliar a relação entre parâmetros de processo e as variáveis de saída.

Demonstrar a viabilidade da aplicação dessa blenda em um produto de tecnologia assistiva.

3 MATERIAIS E MÉTODOS / METODOLOGIA

Neste capítulo serão descritos os materiais e a metodologia empregada na realização deste estudo. A Figura 35 representa o fluxograma de trabalho.

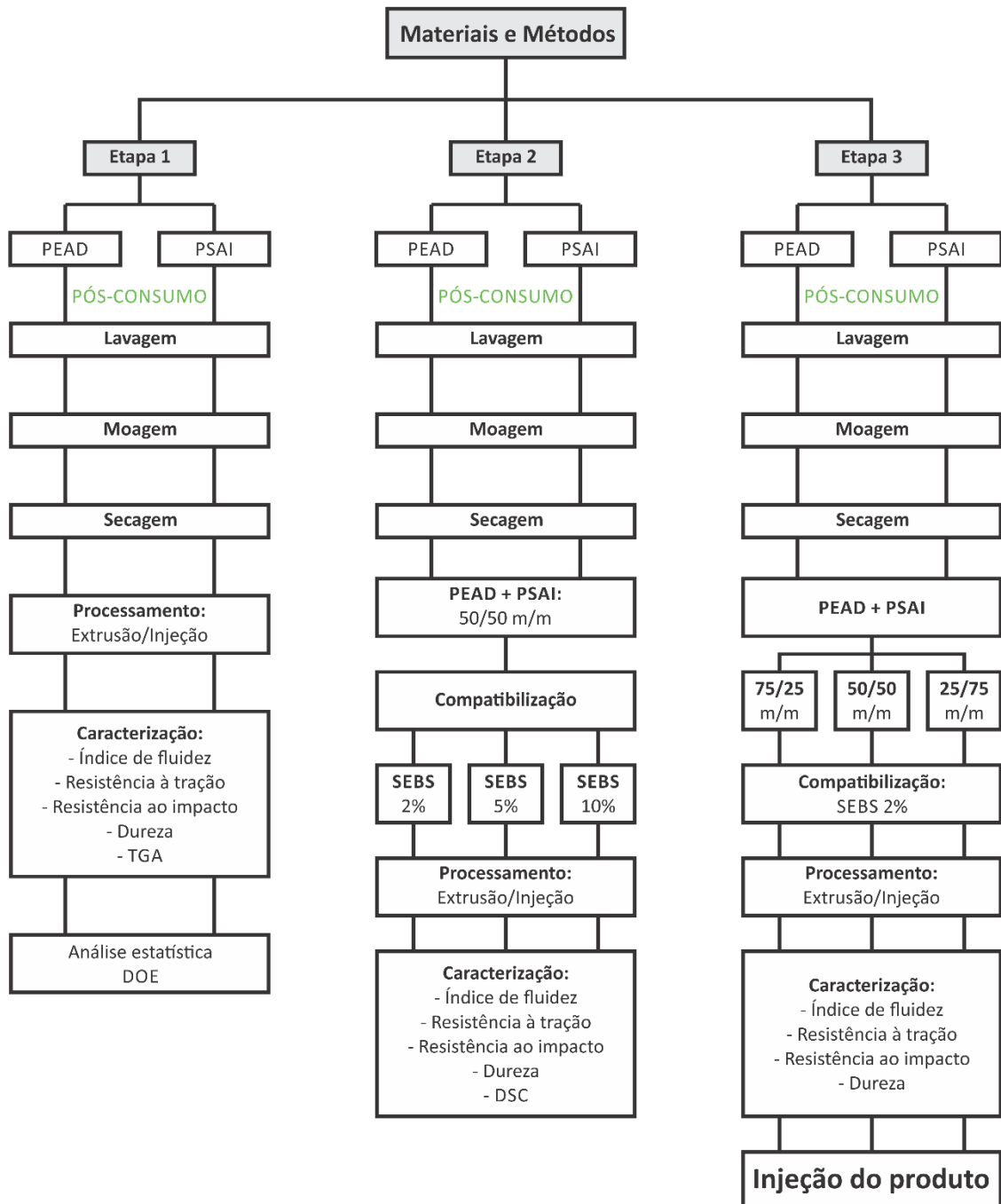


Figura 35. Fluxograma dos materiais e metodologia utilizada.

3.1 Materiais

Os materiais utilizados nesta etapa foram:

Polietileno de alta densidade (PEAD) pós-consumo (2kg), proveniente de embalagens diversas de produtos de limpeza, obtidos por coleta na UFRGS, Campus do Vale.

Poliestireno de alto impacto (PSAI) pós-consumo (2kg), proveniente de copos descartáveis, obtidos por coleta no restaurante universitário da UFRGS, Campus do Vale.

Copolímero de estireno butadieno (SEBS), como agente de compatibilização.

3.2 Metodologia

3.2.1. Etapa 1

O PEAD utilizado neste estudo é proveniente de embalagens de produtos de limpeza (pós-consumo) conforme Figura 36-a. A preparação das amostras consistiu na retirada das tampas e rótulos, seguida de lavagem das embalagens, com água, para retirada do excesso de resíduos. Na sequência foram secas a temperatura ambiente por 24 horas. Os resíduos plásticos de PEAD foram então moídos e triturados para redução de tamanho em um moinho de facas Retsch SM 200, na forma de *flakes*, conforme Figura 36-b.



Figura 36 - Embalagens de PEAD de produtos de limpeza pós consumo após a limpeza (a) e na forma de *flakes* após a moagem (b).

O PSAI utilizado neste trabalho é proveniente de copos descartáveis recolhidos no restaurante universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Campus do Vale, e passou por um processo similar ao do PEAD. No entanto, devido à grande contaminação por resíduos orgânicos, teve um processo de lavagem mais rigoroso. A Figura 37 apresenta parte do resíduo recolhido, bem como o resultado após a moagem.



Figura 37 - a) Resíduo de PSAI recolhido no RU da UFRGS; b) Resultado após lavagem e moagem.

A coleta e preparação das amostras da etapa 1 pode, ainda, ser descrita através da figura 38, que apresenta um fluxograma detalhada das operações realizadas.

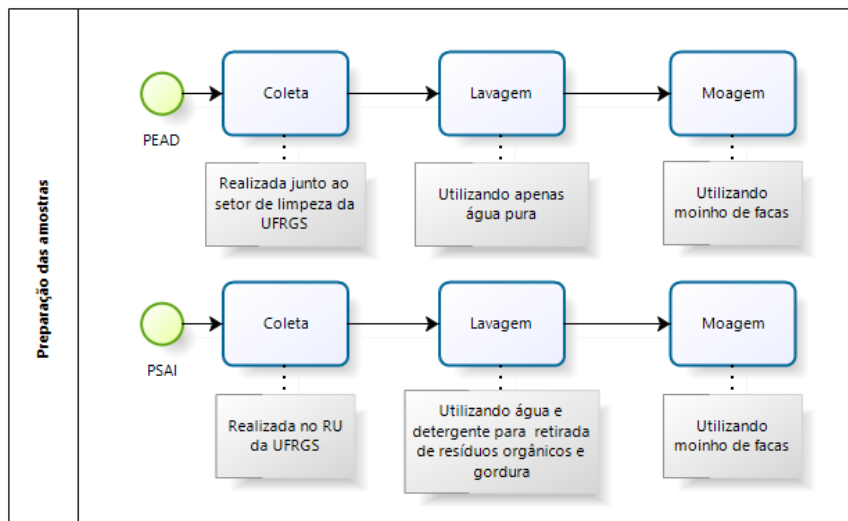


Figura 38. Fluxograma preparação das amostras etapa 1.

As misturas foram processadas em uma extrusora de rosca simples (L/D: 22) da marca Ciola. Após passarem pela extrusora, as amostras foram picotadas no picotador Seibt – PS 50 em uma frequência de 4 Hz.

Para avaliação das propriedades dos materiais (PSAI e PEAD) em função dos parâmetros de processamento, foram definidas duas temperaturas de processamento (T_p), bem como dois valores de velocidade da rosca (V_r) para cada um dos materiais. Estes valores receberam o símbolo L (*low*) para baixo e H (*high*) para alto, desta forma quatro combinações de processamento puderam ser utilizadas para cada material, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Parâmetros de processo utilizados na etapa 1.

	Condição de processamento	Tp (°C)	Vr (RPM)		Condição de processamento	Tp (°C)	Vr (RPM)
PSAI	LL	180	40	PEAD	LL	220	40
	LH	180	80		LH	220	80
	HL	200	40		HL	240	40
	HH	200	80		HH	240	80

Os corpos de prova para os ensaios mecânicos foram obtidos através do processo de injeção (Mini injetora *Thermo Scientific Haake Minijet II*), à temperatura de 190°C (PEAD) e 200°C (PSAI). A pressão utilizada foi de 600 bar.

3.2.2. Etapa 2

Nesta etapa foram formuladas três blendas utilizando PEAD/PSAI, mantendo a proporção de 50/50 em massa e foram compatibilizadas utilizando SEBS à 2, 5 e 10% m/m. As propriedades das blendas foram avaliadas através de ensaios mecânicos, térmicos, reológicos e morfológicos. As misturadas foram realizadas de forma manual, sem auxílio de misturadores, com os polímeros na forma de *flakes*. Após a compatibilização, a blenda foi processada por extrusão, para obtenção dos *pellets*, e por injeção, para obtenção dos corpos de prova. O fluxograma desta etapa pode ser observado na Figura 39.

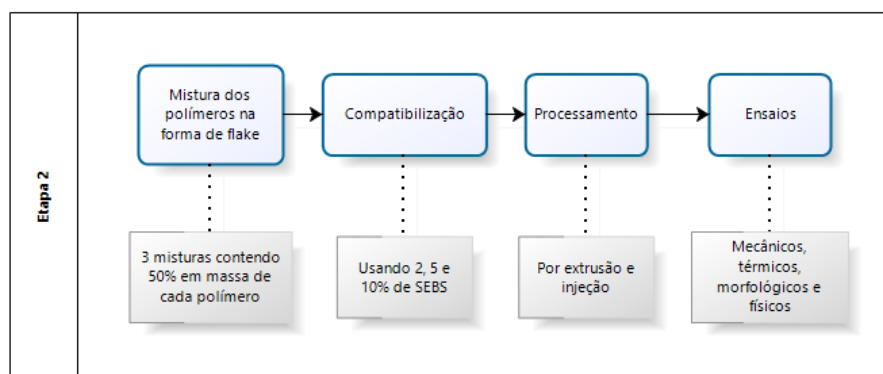


Figura 39. Fluxograma de preparação das amostras na etapa 2.

3.2.3. Etapa 3

Após escolhida a concentração ótima de agente compatibilizante (Etapa 2), de acordo com as propriedades desejadas para o produto final, duas novas blendas foram geradas: A primeira

de PEAD/PSAI com concentração de 25/75 em massa, e a segunda utilizando PEAD/PSAI 75/25 em massa. Ambas as blendas foram compatibilizadas utilizando SEBS a 2%.

3.2.4. Caracterização

A caracterização das amostras foi realizada, através de ensaios mecânicos, térmicos, reológicos e morfológicos, os quais serão descritos neste capítulo.

3.2.4.1. Ensaios Mecânicos

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados em uma Máquina Universal com extensômetro, modelo DL 2000, da marca EMIC, baseado na norma ISO 527-1, utilizando célula de carga de 1000 N e velocidade de afastamento de 2 mm/min. Foram usados 8 corpos de prova injetados confeccionados na Mini injetora Thermo Scientific Haake Minijet II.

Segundo Canevarolo (2006), o estudo do comportamento de materiais poliméricos sob impacto é de extrema importância e fator decisivo na escolha de materiais, tendo em vista o grande número de aplicações práticas sujeitas às solicitações desta ordem como, por exemplo, choques mecânicos em quedas, batidas, entre outras. O método de ensaio utilizado se baseia no princípio de absorção de energia a partir da energia potencial de um pêndulo, e é chamado de teste de impacto IZOD, conforme a Figura 40.

A resistência ao impacto Izod foi realizada no equipamento Ceast, modelo Impactor II, de acordo com a norma ASTM D256. Foram utilizados 8 corpos de prova injetados, sem entalhe e pêndulo de 2,75 J para a amostra de PEAD e PS, sob temperatura ambiente.

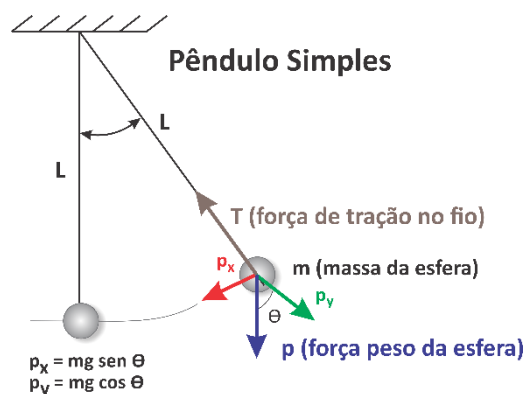


Figura 40. Representação do Ensaio de Impacto Izod. Catto, 2012.

O ensaio de dureza foi realizado em corpos de prova injetados, para o qual foi utilizado o equipamento Woltest Sd 300, da escala Shore D – Mainard “D” G58093, conforme a norma ASTM D2240.

3.2.4.2. Ensaios Térmicos

A técnica de análise por calorimetria diferencial exploratória (DSC) tem como objetivo registrar as temperaturas e o calor envolvido na transição que ocorreu em uma amostra, através da comparação relativa das temperaturas da amostra e de uma de referência, de material inerte. As temperaturas e entalpias de fusão e cristalização e o grau de cristalinidade foram avaliados utilizando-se um calorímetro exploratório diferencial (DSC), marca TA *Instruments*, modelo Q-20. As amostras (aproximadamente 5,6 mg) foram submetidas a dois estágios de aquecimento e um de resfriamento, utilizando uma taxa de 10°C/min em um intervalo de 20 a 200°C, e conforme ASTM D 3417.

A análise termogravimétrica (TGA) permite acompanhar a perda de massa que ocorre em uma amostra devido à elevação de temperatura ou com o tempo de análise. O estudo de degradação térmica foi realizado em um equipamento termogravimétrico modelo 2050 da TA *Instruments*, em uma faixa de temperatura de 25°C a 1000°C, em uma taxa de aquecimento de 20°C/min, sob atmosfera de N₂, conforme ASTM E-1131.

3.2.4.3. Ensaios físicos

Os ensaios de índice de fluidez das amostras foram realizados no equipamento Ceast Modular Melt Flow Modelo 7026.000, da Instron Ceast Division, conforme Método A da norma ASTM D-1238. Foram utilizadas as condições de 190°C/5 kg para as amostras de PEAD e 200°C/5kg para as amostras de PSAI. Para as blendas de PEAD/PSAI, foram utilizadas também as condições 190°C/5 kg.

3.2.5. Delineamento estatístico

A análise estatística foi realizada através do *software Statgraphics® Centurion XVI.II*. Através de análise de variância, coeficiente de regressão e RSM pode-se avaliar a influência de alguns parâmetros de processamento nas propriedades finais, bem como planejar o avanço das atividades.

3.2.6. Modelamento

O modelamento de uma nova tecla foi realizado através de Software de CAD, Solidworks – versão 2012, a fim de corrigir alguns problemas encontrados por Abich e Molon (2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Concepção e modelamento do produto

Abich e Molon (2011) constataram a eficiência de um produto criado para auxiliar no aprendizado Braille, bem como no acesso a informação por parte das pessoas com deficiência visual. O produto criado está representado na Figura 41. O produto fabricado em polipropileno apresenta uma cela Braille e seu respectivo símbolo ou letra, isto para que qualquer pessoa pudesse formar palavras, frases ou textos, mesmo não conhecendo a linguagem Braille.

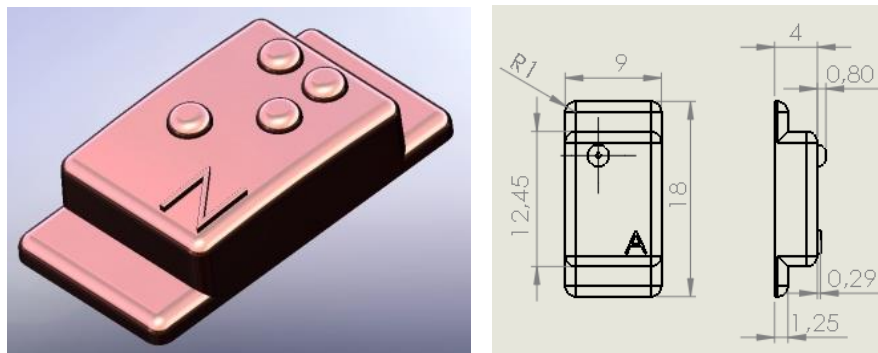


Figura 41. Tecla Braille. Abich & Molon (2011)

O produto apresentava tanto a cela Braille, quanto a representação de seu símbolo ou letra em alto relevo, o que, por vezes, dificultava a leitura pela pessoa com deficiência visual. Para eliminar este problema, um novo modelamento foi realizado, visando a utilização de um caractere, anteriormente produzido em alto relevo, em baixo relevo, conforme Figura 42.

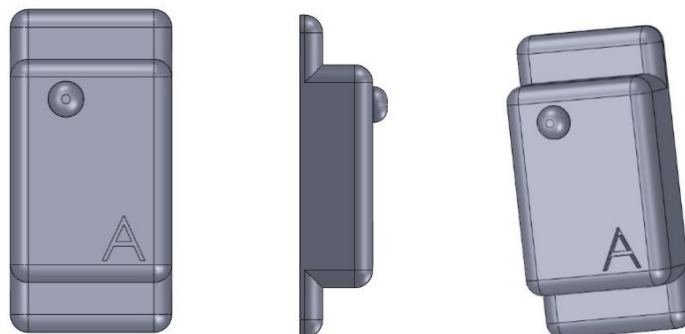


Figura 42. Novo modelamento da tecla Braille.

As dimensões da tecla não foram alteradas, a cela Braille apresentada no produto está de acordo com a NBR 9050, Norma Brasileira referente à Acessibilidade a edificações, mobiliários, espaços e equipamento urbanos. (NBR9050, 2004).

O produto apresenta duas abas para que possa ser montado em um perfil ou régua. Para validação do produto um perfil foi criado através de um *software* CAD. A Figura 43 apresenta o perfil para montagem das teclas com suas respectivas dimensões.

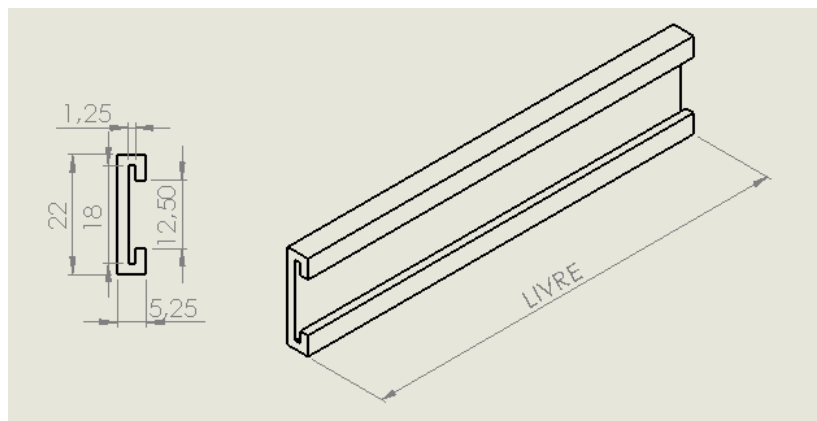


Figura 43. Perfil modelo para montagem das teclas e suas dimensões. Abich & Molon (2011)

4.2 Modelamento do molde protótipo

Um molde foi projetado para que se pudesse avaliar as propriedades do produto final em escala laboratorial, para tanto o molde consiste de duas cavidades, cada uma delas com um postigo intercambiável, podendo ser injetada uma única tecla por vez, conforme mostra a figura 44.

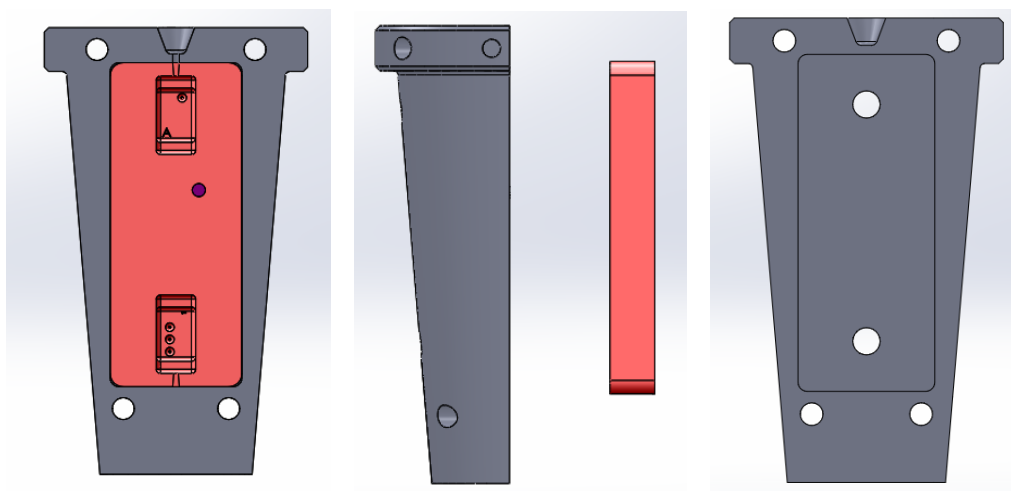


Figura 44. Molde protótipo para as teclas Braille.

Cada posição tem duas cavidades para melhor aproveitamento do molde, o detalhamento dos posições e cavidades estão nos apêndices deste trabalho. Com a fabricação deste molde poderiam ser produzidas as teclas correspondentes a sigla LAPOL (Laboratório de Polímeros), no entanto o protótipo não foi executado devido aos prazos de entrega oferecidos por empresas contatadas. A Figura 45 mostra a montagem das teclas projetadas.

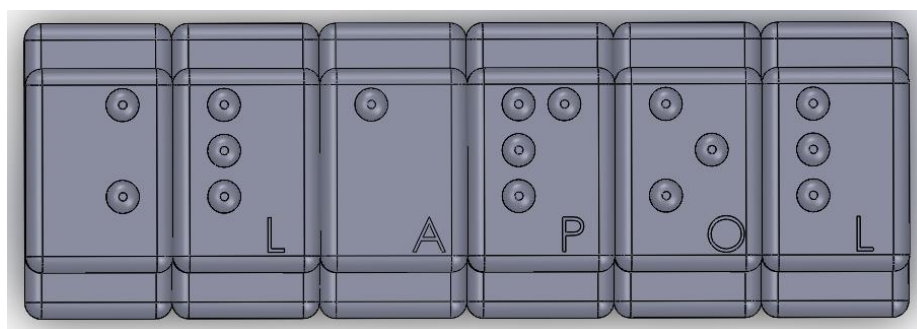


Figura 45. Montagem das teclas projetadas.

4.3 Etapa 1

Após a lavagem e secagem, a matéria-prima, recolhida no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi processada por extrusão e injetada sob a forma de corpos de prova de tração e impacto, conforme as normas citadas anteriormente. Os resultados dos ensaios realizados nesta etapa serão apresentados neste capítulo. Na etapa de extrusão foram utilizados dois parâmetros para velocidade da rosca e temperatura de processamento.

4.3.1. Índice de Fluidez

O índice de fluidez foi avaliado após a matéria-prima passar pelo processo de extrusão, levando em consideração a variação dos parâmetros de processamento (velocidade da rosca e temperatura de processamento), os resultados obtidos foram comparados entre si e estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Comparativo Índice de Fluidez após processamento por extrusão.

	Condição de processamento	IF	DV		Condição de processamento	IF	DV
PSAI	LL	7,87	0,09	PEAD	LL	2,35	0,01
	LH	7,11	0,02		LH	2,24	0,02
	HL	7,11	0,11		HL	2,33	0,02
	HH	6,98	0,04		HH	2,30	0,01

A Figura 46 apresenta um comparativo gráfico entre as condições de processamento e os resultados obtidos para o índice de fluidez.

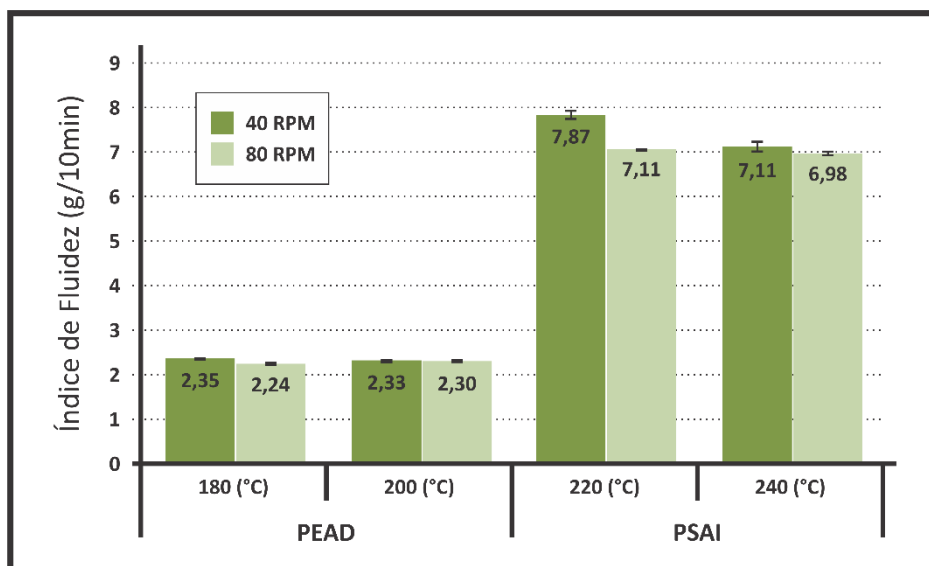


Figura 46. Comparativo IF após processamento por extrusão.

Pode-se observar uma pequena redução nos valores do IF quando submetidos a maiores velocidades da rosca, este resultado pode estar relacionado ao menor tempo de residência. Quanto a temperatura, seu aumento também influenciou para a diminuição do IF, fato que pode estar relacionado com o maior esforço mecânico encontrado à baixa temperatura, Vogt et. al (2006) já haviam encontrado resultados similares em seus estudos realizados com os mesmos resíduos.

Após o processamento por injeção, as amostras foram novamente moídas para análise do IF, o comparativo do resultado está representado na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparativo do Índice de fluidez após o processamento por injeção.

	Condição de processamento	IF	DV		Condição de processamento	IF	DV
PSAI Injetado	LL	8,91	0,07	PEAD Injetado	LL	2,11	0,04
	LH	7,30	0,05		LH	2,19	0,04
	HL	7,73	0,11		HL	2,14	0,03
	HH	8,11	0,11		HH	2,12	0,02

Os dados foram agrupados em um gráfico para uma melhor visualização e entendimento das variações encontradas, conforme mostra a Figura 47.

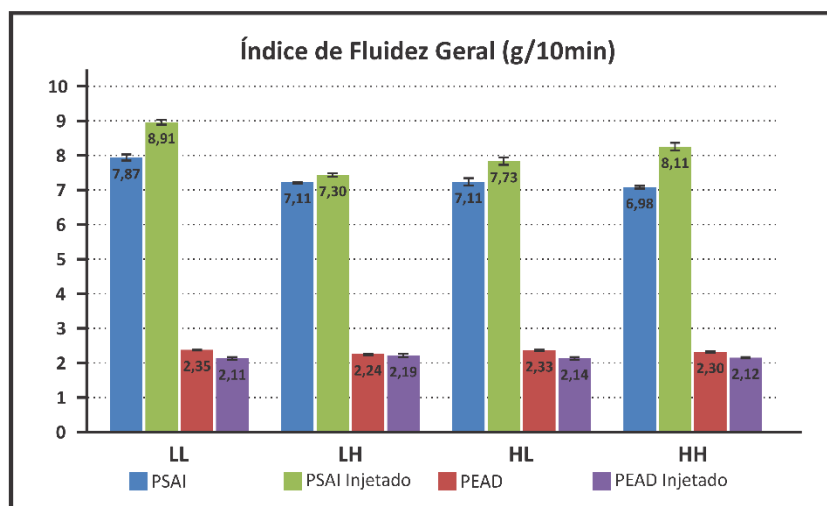


Figura 47. Índice de Fluidez Geral.

Após o processamento por injeção as amostras de PSAI apresentaram um aumento no índice de fluidez, já as amostras de PEAD apresentaram um leve decréscimo nesta propriedade. Esta variação nos resultados pode estar relacionada a dois meios de degradação, enquanto a diminuição da viscosidade do PSAI sugere uma predominância de cisão da cadeia polimérica, um aumento da viscosidade nas amostras de PEAD demonstra a predominância de uma degradação por reticulação (*cross linking*) (REMÉDIO et. al, 1999).

4.3.2. Ensaio de Impacto

As amostras foram submetidas ao ensaio de impacto e os dados obtidos foram agrupados conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Resistência ao impacto PSAI e PEAD.

Condição de processamento		J/m	DV	KJ/m2	DV	
PSAI	LL	T=220°C e V=40 rpm.	172,23	27,05	13,56	2,13
	LH	T=220°C e V=80 rpm	315,37	28,13	24,83	2,21
	HL	T=240°C e V=40 rpm	457,11	82,18	35,99	6,47
	HH	T=240°C e V=80 rpm	401,71	91,65	31,63	7,22
PEAD	LL	T=180°C e V=40 rpm	1067,13	29,58	84,03	2,33
	LH	T=180°C e V=80 rpm	987,82	25,79	77,78	2,03
	HL	T=200°C e V=40 rpm	1009,19	49,97	79,46	3,93
	HH	T=200°C e V=80 rpm	1050,31	60,57	82,70	4,77

Os dados foram, ainda, agrupados em um gráfico para uma melhor visualização e entendimento da variação desta propriedade em função dos parâmetros de processamento. O gráfico está representado na Figura 48.

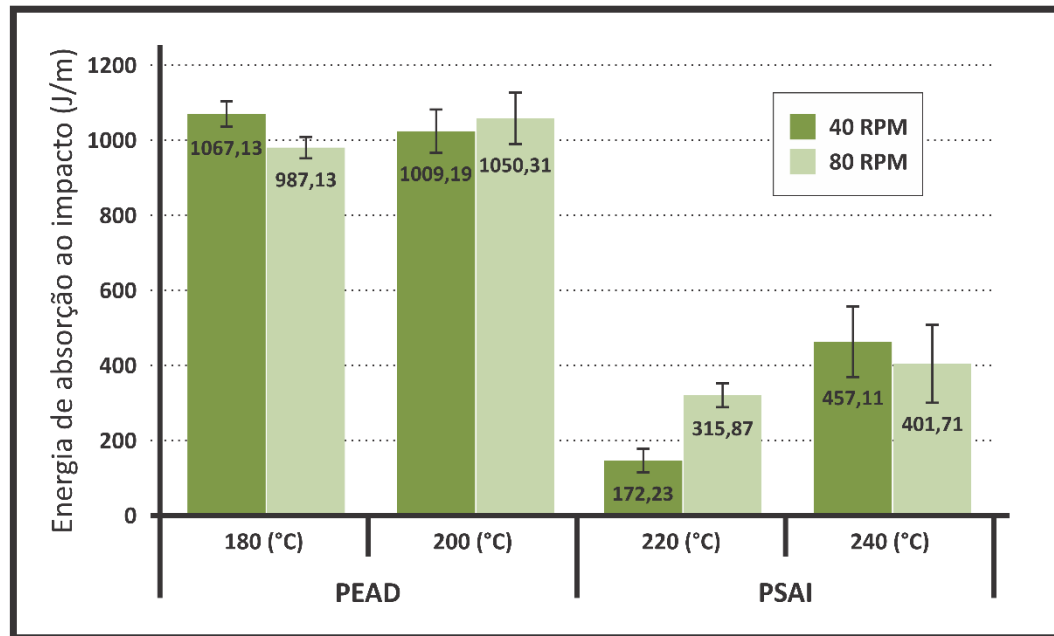


Figura 48. Comparativo dos resultados do ensaio de Impacto para PSAI e PEAD.

Pode-se observar que o comportamento de PEAD e PSAI não se mostraram análogos. Para o PEAD, processado à baixa temperatura, o aumento da velocidade da rosca influenciou negativamente na energia de absorção ao impacto, já na condição de alta temperatura o aumento da velocidade da rosca aumentou a resistência ao impacto. As amostras de PSAI demonstraram comportamento contrário. Estes resultados podem estar relacionados a influência destes parâmetros sobre o grau de cristalinidade de ambos polímeros, segundo Canevarolo (2002) o aumento do grau de cristalinidade é responsável pela redução da resistência ao impacto.

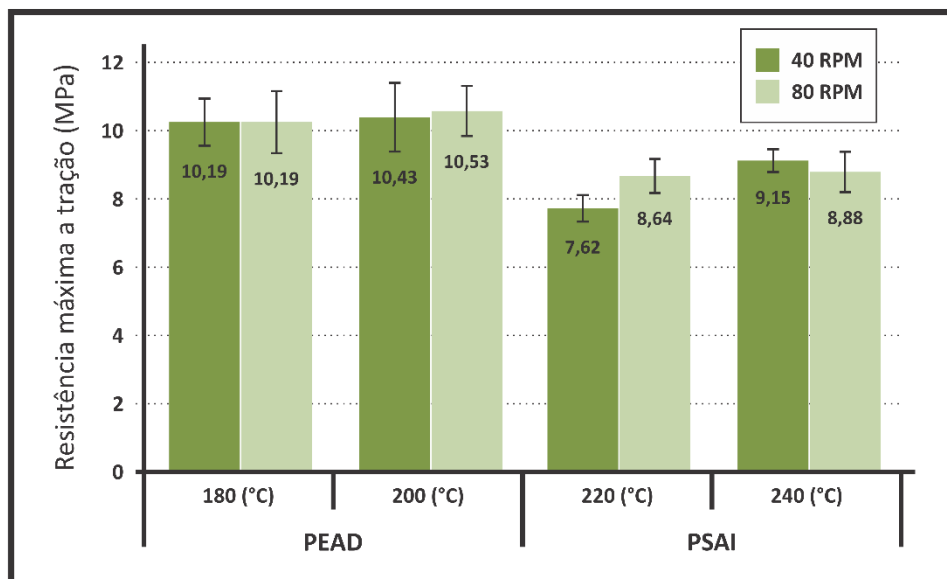
4.3.3. Ensaio de tração

Os dados obtidos através do ensaio de tração foram agrupados em uma tabela, a fim de comparar os resultados obtidos em cada condição de processamento. A Tabela 8 pode ser visualizada a seguir.

Tabela 8 - Resistência a tração PSAI e PEAD

Condição de processamento			Resistência a tração		Módulo de elasticidade	
			MPa	DV	MPa	DV
PSAI	LL	T=220°C e V=40 rpm.	7,62	0,31	1461,04	46,80
	LH	T=220°C e V=80 rpm	8,64	0,41	1683,50	27,09
	HL	T=240°C e V=40 rpm	9,15	0,27	1703,58	129,71
	HH	T=240°C e V=80 rpm	8,88	0,49	1578,32	413,67
PEAD	LL	T=180°C e V=40 rpm	10,19	0,57	360,82	2,64
	LH	T=180°C e V=80 rpm	10,19	0,75	357,96	10,04
	HL	T=200°C e V=40 rpm	10,43	0,83	368,10	13,82
	HH	T=200°C e V=80 rpm	10,53	0,61	377,86	6,66

A partir dos dados gerados, um gráfico foi elaborado para um melhor entendimento da variação da resistência ao impacto, bem como do módulo de elasticidade em função dos parâmetros de processamento. A Figura 49 apresenta a comparação resistência máxima à tração do PEAD e PSAI em relação aos parâmetros de processamento

**Figura 49. Comparação resistência máxima à tração.**

A Figura 50 apresenta a comparação do módulo de elasticidade do PEAD e PSAI em relação aos parâmetros de processamento.

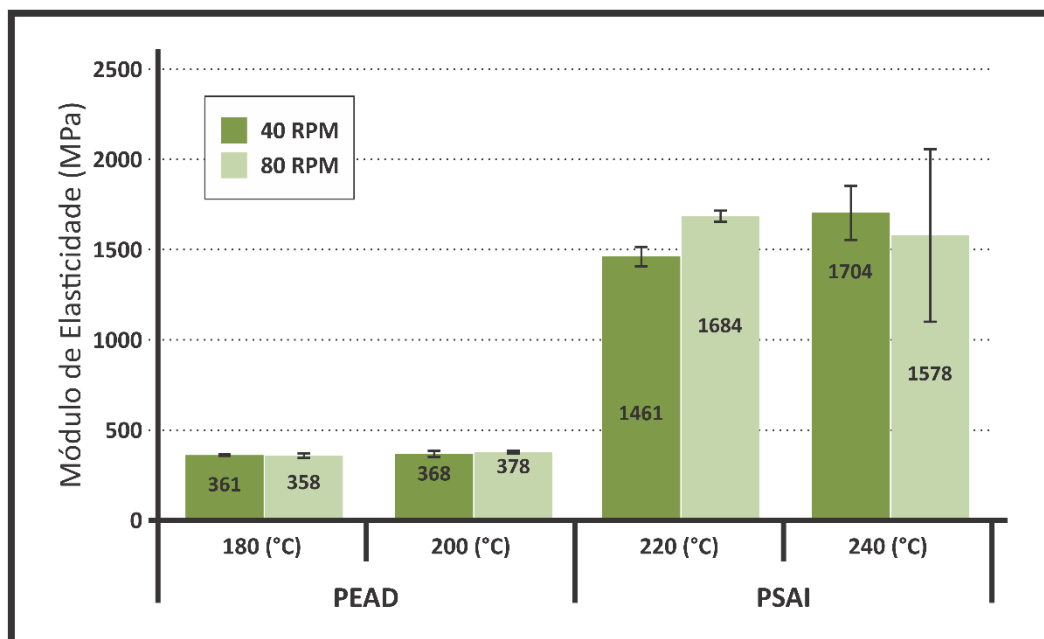


Figura 50. Comparação módulo de elasticidade.

Pode-se observar que a variação dos parâmetros de processamento praticamente não influenciou os resultados de resistência a tração e módulo de elasticidade do PEAD, no entanto, o PSAI apresentou melhores resultados quando processado a temperatura e velocidade da rosca mais baixas.

Os resultados encontrados para o PEAD apontam para uma maior estabilidade térmica, segundo Pinheiro *et al.* (2004) a degradação termomecânica do PEAD é crescente com a extensão das cadeias, devido às cadeias maiores serem mais susceptíveis a cisão, enquanto as menores são mais propensas a ramificação.

Os resultados encontrados para o PSAI evidenciam a degradação por ação termomecânica, cisão de cadeia, que leva a diminuição da massa molar (ZBOROWSKI, 2011). Cáceres e Canevarolo (2008) constataram que a redução da massa molar após múltiplas extrusões de PS é independente do comprimento da cadeia, somente há aumento do nível de cisões de cadeia em função do processamento.

4.3.4. Dureza

A variação na dureza, de acordo com as condições de processamento, pode ser observada na Figura 51.

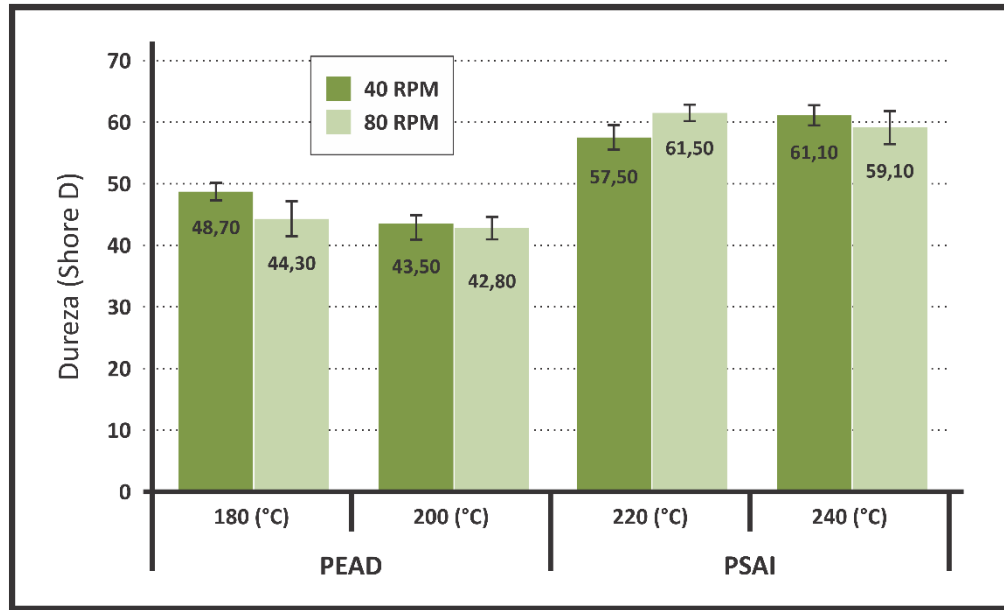


Figura 51. Comparação dureza Shore D

Para as amostras de PEAD o aumento da temperatura, bem como, da velocidade da rosca acarretou em diminuição da dureza, já para as amostras de PSAI os maiores valores de dureza foram obtidos utilizando baixa temperatura e alta velocidade da rosca.

4.3.5. Análises Térmicas

Uma análise TGA foi realizada a fim de avaliar a variação na estabilidade térmica do polímero após processamento. Os dados obtidos através da análise foram agrupados e estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Termogravimetria dos resíduos de PSAI e PEAD

	Condição de processamento	Ti (°C)	%m/m		Condição de processamento	Ti (°C)	%m/m
PSAI	LL	264,1	94,4	PEAD	LL	258,2	98,1
	LH	258,2	94,1		LH	259,8	98,3
	HL	246,7	93,9		HL	262,1	97,8
	HH	262,4	94,4		HH	255,3	98,3

A Figura 52 apresenta as curvas térmicas do PSAI e PEAD conforme as condições de processamento.

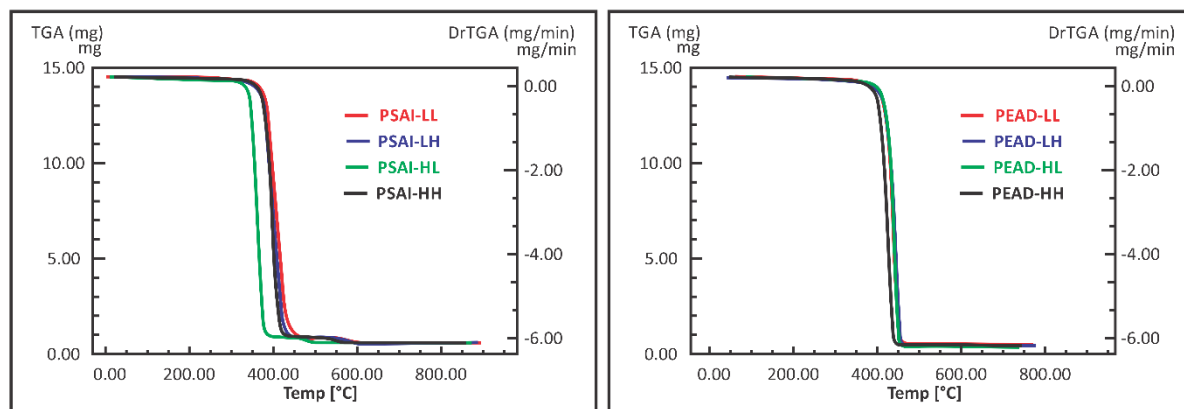


Figura 52 - Curvas térmicas PSAI e PEAD após processamento sob diversas condições.

As amostras de PSAI não demonstraram alterações significativas nas curvas térmicas quando processadas em baixas temperaturas, porém em temperatura alta e velocidade da rosca baixa, condição HL, a mesma apresentou redução na estabilidade térmica, esse resultado pode estar relacionado com o maior tempo de residência à alta temperatura. De Paoli (2008) aponta que a temperatura e o tempo de residência (baixa velocidade) são variáveis importantes para definir se haverá degradação térmica durante um processamento. Para as amostras de PEAD, na maioria das condições de processamento, as curvas térmicas mantiveram comportamento similar, embora a amostra com a condição HL (alta temperatura e baixa velocidade da rosca), observa-se um leve acréscimo na estabilidade térmica do PEAD, isto deve-se provavelmente a reticulação decorrente do início da degradação, o que influencia no aumento da resistência a maiores temperaturas (REMÉDIO et. al, 1999).

4.3.6. Análise estatística PSAI

Através do delineamento estatístico foi possível observar a relação entre os parâmetros de processamento e as variáveis de saída para o PSAI.

Índice de Fluidez: A Figura 53 apresenta a relação entre as variáveis de processo e o índice de fluidez do PSAI.

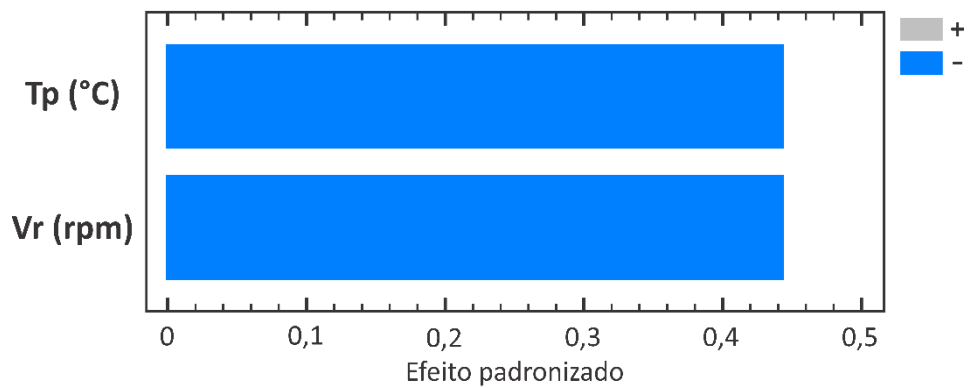


Figura 53. Relação entre as variáveis de processo e o Índice de Fluidez (PSAI).

Através da Figura 53 pode-se observar que ambos os parâmetros de processamento influenciaram de forma negativa na variação do índice de fluidez, bem como não houve variação significativa entre eles. Pode-se afirmar a partir deste resultado que o aumento da Temperatura de Processamento (Tp) e/ou da Velocidade da Rosca (Vr) acarretam em diminuição do Índice de Fluidez (IF). Este resultado pode estar relacionado com o maior tempo de residência, à baixa rotação, e maior esforço mecânico devido à baixa temperatura (VOGT et. al, 2006).

A Figura 54 apresenta a relação entre a combinação destas variáveis e seus respectivos resultados para o índice de fluidez.

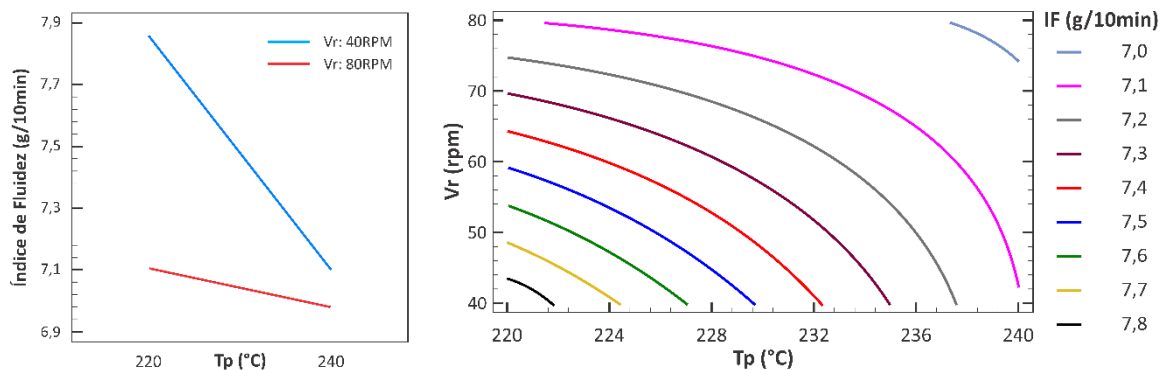


Figura 54. Relação entre as variáveis de processo e os resultados do Índice de Fluidez (PSAI).

Através da Figura 54 é possível observar o progresso dos valores do índice de fluidez em razão dos parâmetros utilizados, sendo possível perceber, por exemplo, que para valores máximos de velocidade da rosca e temperatura de processamento, não é possível a obtenção de valores de IF maiores do que 7,1 g/10min, comprovando a influência negativa destas variáveis para a propriedade IF.

As curvas apresentadas na Figura 54 são oriundas de uma função gerada pelo *software*, chamada coeficiente de regressão, e auxilia na previsão dos resultados. A Equação 01 é mostrada a seguir.

$$IF = 23,983 - 0,0698 \times Tp - 0,1936 \times Vr + 0,00079375 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (1)}$$

Existe uma forte relação entre projeto de experimentos (DOE) e os coeficientes de regressão, visto que através deles pode-se expressar quantitativamente o resultado, a fim de facilitar sua compreensão, interpretação e implementação. Desta forma é possível conhecer de forma exata a verdadeira relação funcional entre as variáveis envolvidas (MONTGOMERY, 2012).

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 98,5% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 0,11g/10min, conforme pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de IF e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAI).

	Condição de processamento	IF (g/10min)	DV		Condição de processamento	IF (g/10min)
IF obtido	LL	7,87	0,09	IF calculado	LL	7,87
	LH	7,11	0,02		LH	7,11
	HL	7,11	0,11		HL	7,11
	HH	6,98	0,04		HH	6,98

Resistência ao Impacto: A Figura 55 apresenta a relação entre as variáveis de processo e a resistência ao impacto do PSAI.

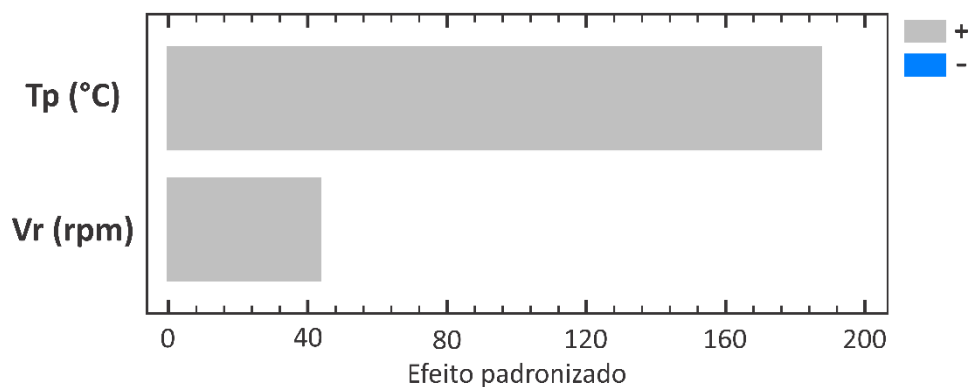


Figura 55. Relação entre as variáveis de processamento e a resistência ao Impacto (PSAI).

Através da Figura 55 pode-se observar que ambos parâmetros de processamento influenciaram de forma positiva nos valores de resistência ao impacto, bem como o parâmetro de maior relevância para esta propriedade foi a temperatura de processamento. Estes resultados podem estar relacionados com a diminuição do grau de cristalinidade, que faz com que a resistência ao impacto aumente (CANEVAROLO, 2002).

A Figura 56 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados na resistência ao impacto.

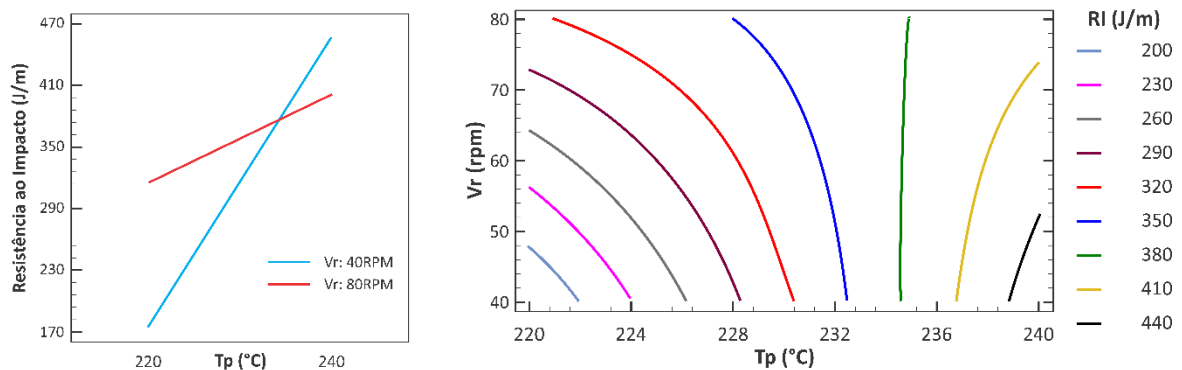


Figura 56. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência ao impacto (PSAI).

Através da Figura 56 é possível observar o progresso dos valores de resistência ao impacto em razão dos parâmetros utilizados, sendo possível perceber um ponto de intersecção entre as velocidades da rosca, que representa uma condição de resistência ao impacto onde pode-se aplicar ambas as velocidades para o mesmo resultado.

Do ponto de vista prático, esse ponto poderia ser utilizado para redução do consumo de energia, utilizando o menor valor de velocidade, o que representaria redução de custo e um processo mais sustentável. Essas superfícies de resposta representam uma possibilidade de obtenção de valores desejáveis, através de múltiplas combinações de variáveis, o que permite um maior controle e menores custos de processamento.

Para a resistência ao impacto o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$RI = -5288,53 + 24,171 \times Tp + 58,177 \times Vr - 0,248175 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (2)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 77,2% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 91,65J/m, conforme pode ser observado na Tabela 11.

Tabela 11 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RI e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAI)

	Condição de processamento	RI (J/m)	DV		Condição de processamento	RI (J/m)
RI obtido	LL	172,23	27,05	RI calculado	LL	172,23
	LH	315,37	28,13		LH	315,37
	HL	457,11	82,18		HL	457,11
	HH	401,71	91,65		HH	401,71

Resistência à tração: A Figura 57 apresenta a relação entre as variáveis de processo e a resistência à tração do PSAI.

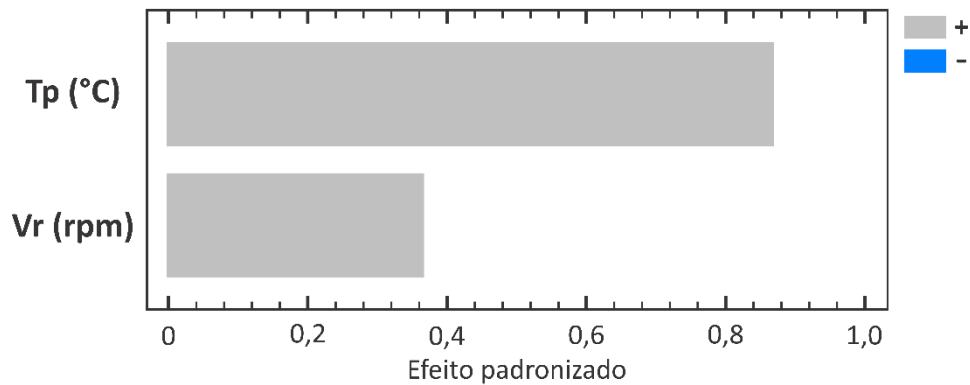


Figura 57. Relação entre as variáveis de processamento e a resistência à tração (PSAI).

Através da Figura 57 pode-se observar que ambos parâmetros de processamento influenciaram de forma positiva nos valores de resistência ao impacto, bem como o parâmetro de maior relevância para esta propriedade foi a temperatura de processamento.

A Figura 58 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados na resistência ao impacto.

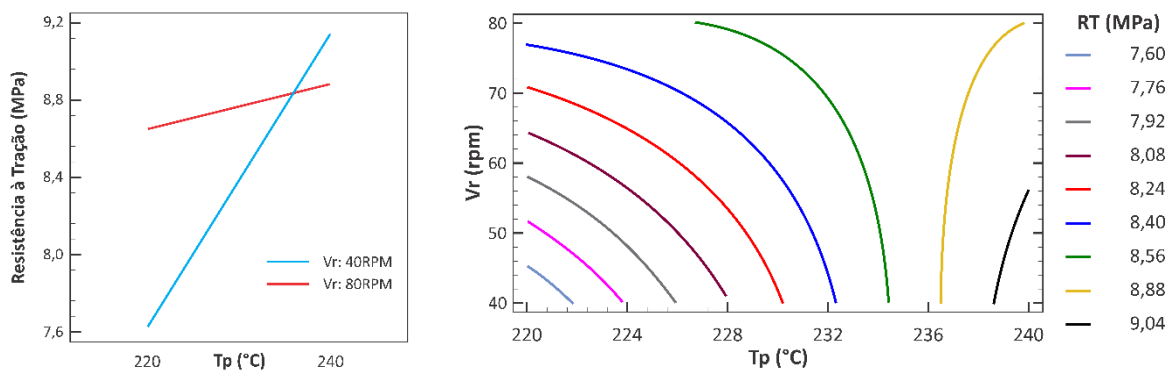


Figura 58. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência à tração (PSAI).

Pode-se observar que através das relações encontradas, cada resultado de resistência a tração, assim como nos anteriores, descreve várias combinações possíveis entre os parâmetros de processamento, o que permite otimizar a produtividade, reduzindo custos e mantendo os parâmetros de qualidade exigidos.

Para a resistência à tração o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$RT = -24,294 + 0,14045 \times Tp + 0,37825 \times Vr - 0,00160375 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (3)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 94,5% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 0,49MPa, conforme pode ser observado na Tabela 12.

Tabela 12 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RT e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAI)

	Condição de processamento	RT (MPa)	DV		Condição de processamento	RT (MPa)
RT obtido	LL	7,62	0,31	RT calculado	LL	7,62
	LH	8,64	0,41		LH	8,64
	HL	9,15	0,27		HL	9,15
	HH	8,88	0,49		HH	8,88

Dureza: A Figura 59 apresenta a relação entre as variáveis de processo e a dureza encontrada nas amostras de PSAI.

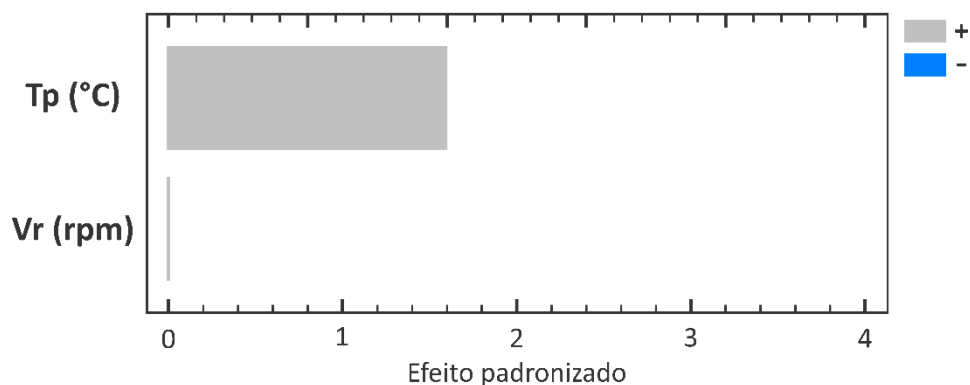


Figura 59. Relação entre as variáveis de processamento e a dureza (PSAI).

Pode observar através da Figura 59 que a dureza foi influenciada de forma positiva pela temperatura de processamento, ou seja, o aumento da T_p resulta em aumento na dureza, no

entanto a velocidade da rosca (dentre as utilizadas) não influenciou de forma significativa nos resultados.

A Figura 60 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados no ensaio de dureza.

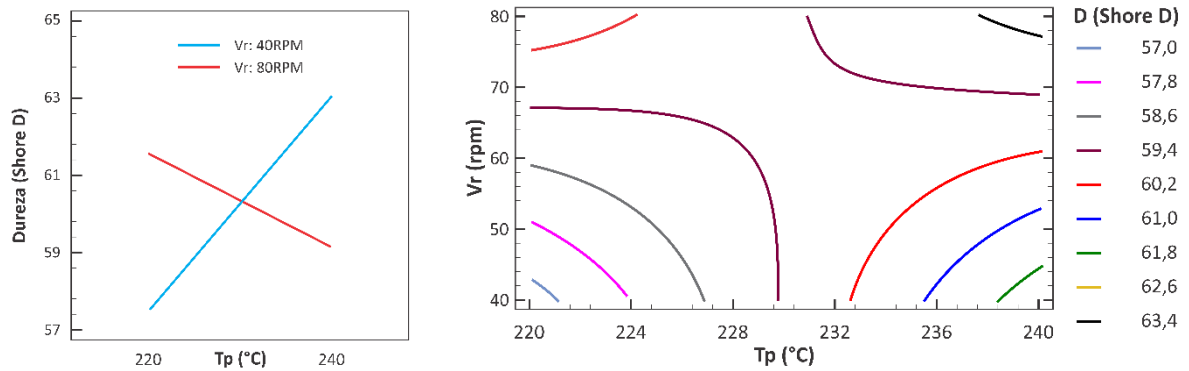


Figura 60. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de dureza (PSAI).

Pode-se observar através da Figura 60 que, embora a velocidade da rosca não tenha influenciado de forma significativa nos resultados de dureza das amostras, os maiores resultados para esta propriedade foram obtidos utilizando-se uma velocidade de 40 RPM.

Para a dureza o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$D = -96,1 + 0,68 \times Tp + 2,3 \times Vr - 0,01 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (4)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 96,3% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 2,2 Shore D, conforme pode ser observado na Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de dureza e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PSAI).

	Condição de processamento	D (Shore D)	DV		Condição de processamento	D (Shore D)
D obtida	LL	57,5	1,6	D calculada	LL	57,5
	LH	61,5	1,1		LH	61,5
	HL	63,1	1,3		HL	63,1
	HH	59,1	2,2		HH	59,1

4.3.7. Análise estatística PEAD

Através do delineamento estatístico foi possível observar a relação entre os parâmetros de processamento e as variáveis de saída para o PEAD.

Índice de Fluidez: A Figura 61 apresenta a relação entre as variáveis de processo e o índice de fluidez das amostras de PEAD.

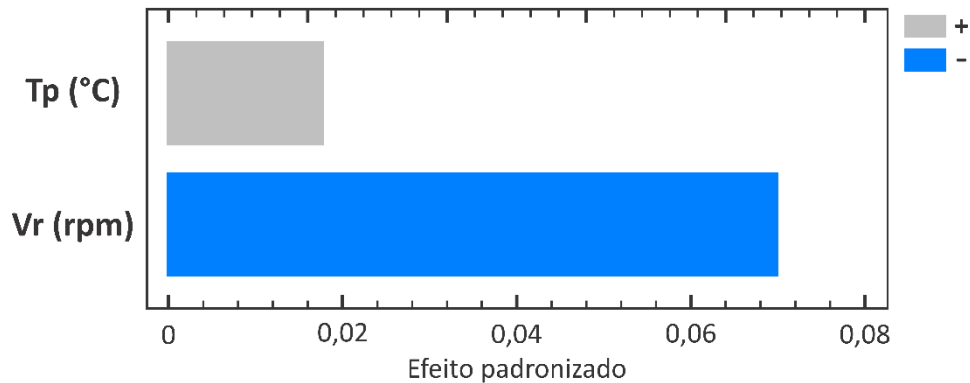


Figura 61. Relação entre as variáveis de processamento e o índice de fluidez (PEAD).

Através da Figura 61 pode-se observar que a temperatura de processamento influenciou de forma positiva no índice de fluidez, no entanto, a velocidade da rosca foi o parâmetro de maior relevância e apresenta influência negativa no resultado do ensaio, ou seja, para maiores valores de velocidade menores valores de IF foram encontrados.

A Figura 62 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados no índice de fluidez.

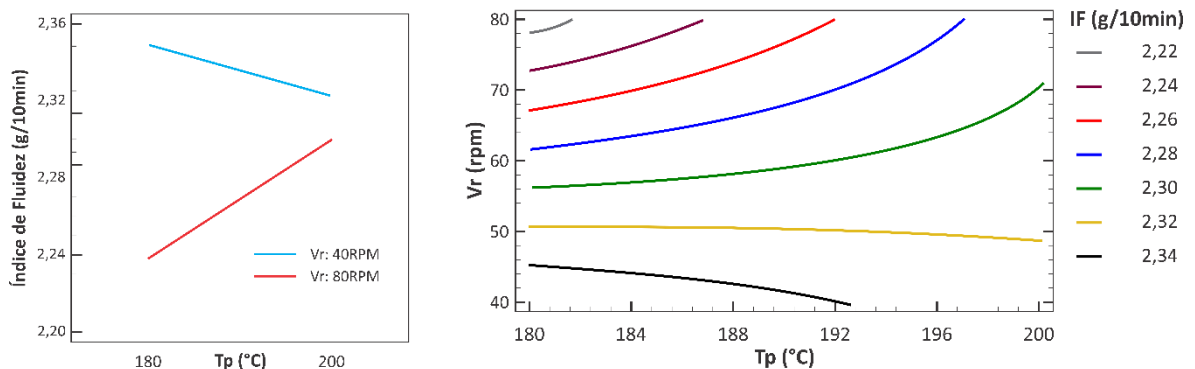


Figura 62. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados do Índice de Fluidez (PEAD).

Através da Figura 62 pode-se observar que para valores de índice de fluidez superiores a 2,30g/10min é necessário a utilização de 40RPM, confirmando seu efeito negativo nessa propriedade.

Para o índice de fluidez o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$IF = 3,423 - 0,00535 \times Tp - 0,021425 \times Vr + 0,00010375 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (5)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 99,1% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 0,02 g/10min, conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de IF e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).

	Condição de processamento	IF (g/10min)	DV		Condição de processamento	IF (g/10min)
IF obtido	LL	2,35	0,01	IF calculado	LL	2,35
	LH	2,24	0,02		LH	2,24
	HL	2,33	0,02		HL	2,33
	HH	2,30	0,01		HH	2,30

Resistência ao Impacto: A Figura 63 apresenta a relação entre as variáveis de processo e a resistência ao impacto do PEAD.

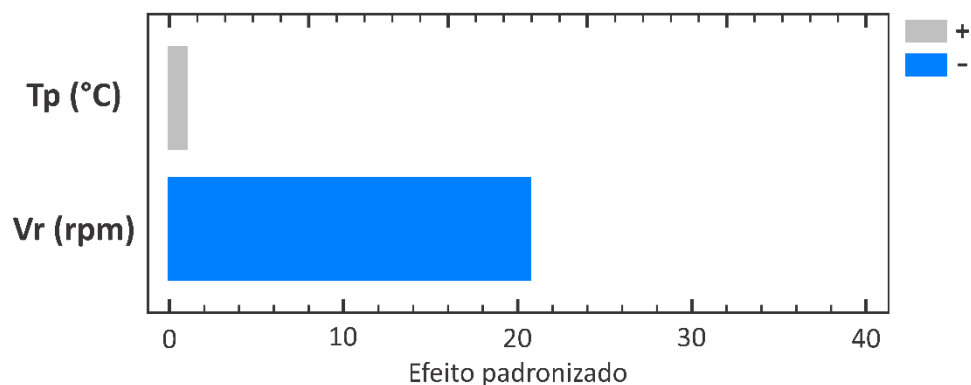


Figura 63. Relação entre as variáveis de processamento e resistência ao impacto (PEAD).

A temperatura de processamento não demonstrou influência significativa, já a velocidade da rosca demonstrou influência negativa na resistência ao impacto, ou seja, para maiores velocidades da rosca menores valores de RI.

A Figura 64 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados no ensaio de resistência ao impacto.

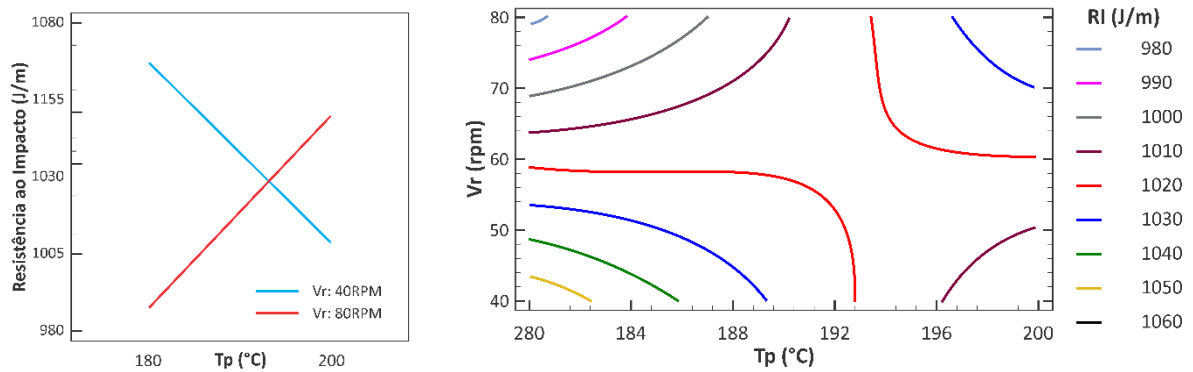


Figura 64. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência ao impacto (PEAD).

Observando as curvas relacionadas às múltiplas combinações, pode-se perceber que uma resposta de 1020 J/m pode ser obtida utilizando qualquer valor de temperatura, bem como qualquer valor de velocidade.

Para resistência ao impacto o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$RI = 2751,77 - 8,9185 \times Tp - 29,0795 \times Vr + 0,150537 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (6)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 94,2% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 60,57 J/m, conforme pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RI e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD)

	Condição de processamento	RI (J/m)	DV		Condição de processamento	RI (J/m)
RI obtido	LL	1067,13	29,58	RI calculado	LL	1067,13
	LH	987,82	25,79		LH	987,81
	HL	1009,19	49,97		HL	1009,19
	HH	1050,31	60,57		HH	1050,30

Resistência à tração: A Figura 65 apresenta a relação entre as variáveis de processo e a resistência à tração das amostras de PEAD.

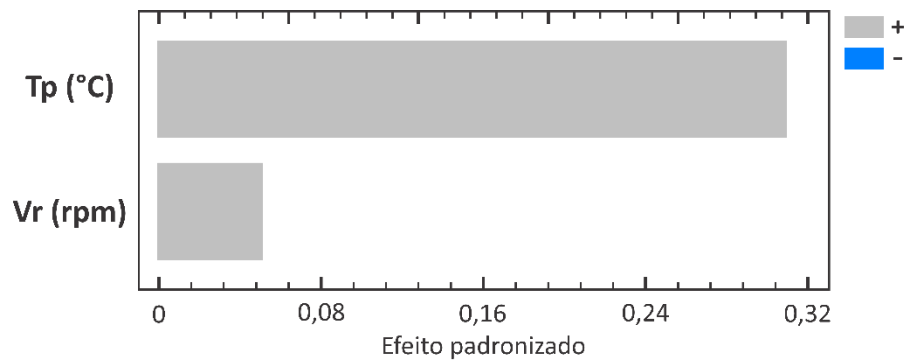


Figura 65. Relação entre as variáveis de processamento e a resistência à tração (PEAD).

Ambos os parâmetros de processamento influenciaram o resultado de forma positiva, no entanto a temperatura de processamento apresentou-se como parâmetro de maior relevância.

A Figura 66 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados no ensaio de resistência à tração.

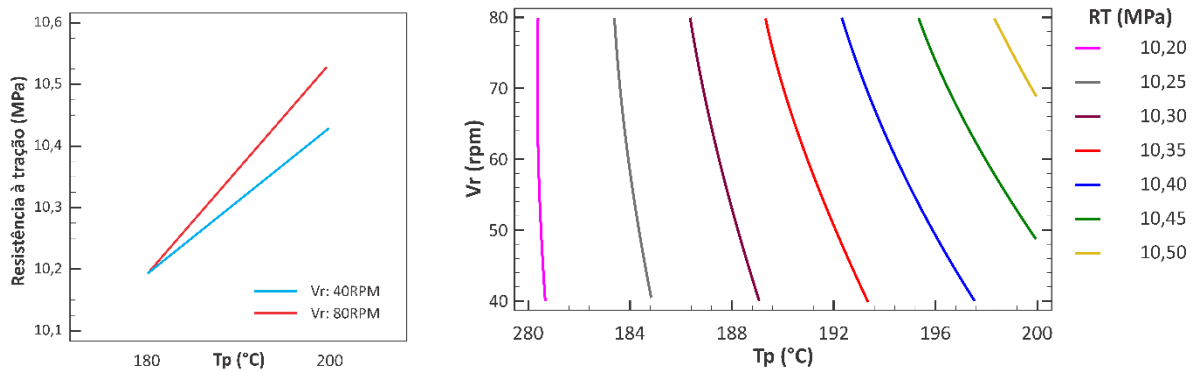


Figura 66. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de resistência à tração (PEAD).

Cada perfil de temperatura apresentou uma resposta quanto a resistência à tração, que praticamente não foi alterada pela velocidade da rosca, o que evidencia a maior relevância deste parâmetro. As curvas de velocidade não apresentam intersecção e a resposta aumenta conforme aumenta a temperatura de processamento, para todas as condições.

Para resistência à tração o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$RT = 8,95 + 0,0069 \times Tp - 0,022025 \times Vr + 0,0001225 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (7)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 92% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 0,83 MPa, conforme pode ser observado na Tabela 16.

Tabela 16 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de RT e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).

	Condição de processamento	RT (MPa)	DV		Condição de processamento	RT (MPa)
RT obtido	LL	10,19	0,57	RT calculado	LL	10,19
	LH	10,19	0,75		LH	10,19
	HL	10,43	0,83		HL	10,43
	HH	10,53	0,61		HH	10,53

Dureza: A Figura 67 apresenta a relação entre as variáveis de processo e a dureza encontrada nas amostras de PEAD.

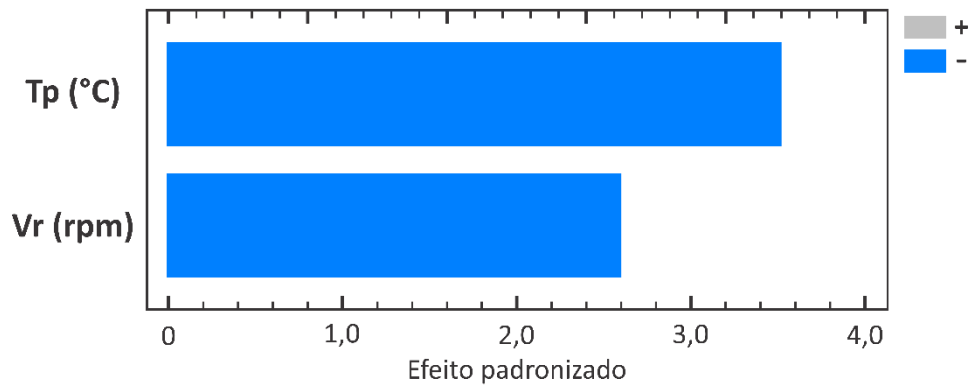


Figura 67. Relação entre as variáveis de processamento e a dureza (PEAD).

A dureza foi afetada de forma negativa pelos dois parâmetros, porém com maior relevância para a temperatura de processamento, ou seja, para maiores valores de Tp e Vr menores valores de dureza foram encontrados.

A Figura 68 apresenta a relação entre os parâmetros de processamento e os resultados encontrados no ensaio de dureza.

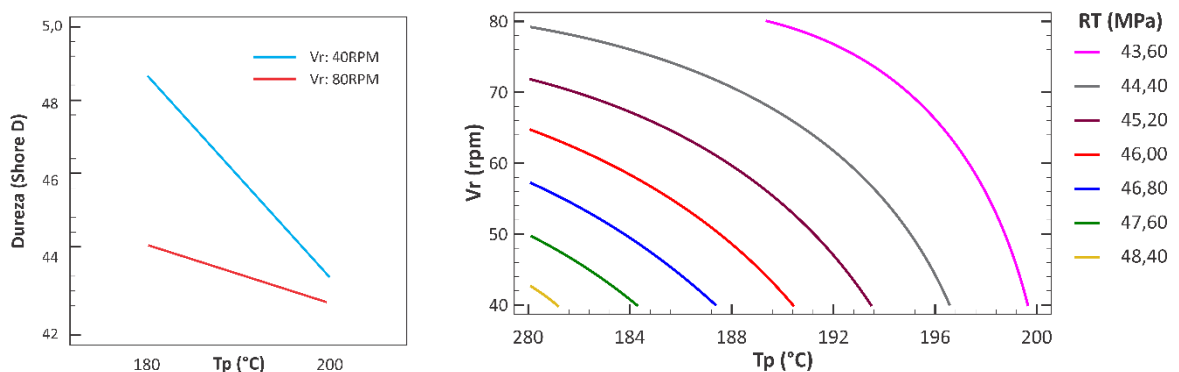


Figura 68. Relação entre as variáveis de processamento e os resultados de dureza (PEAD).

Os maiores valores de dureza somente puderam ser obtidos utilizando os menores valores de velocidade da rosca e temperatura, o que comprova a influência negativa de ambos os parâmetros com relação a dureza encontrada nas amostras.

Para dureza o *software* apresentou o seguinte coeficiente de regressão:

$$D = 133,2 - 0,445 \times Tp - 0,9425 \times Vr + 0,004625 \times Tp \times Vr \quad \text{Eq. (8)}$$

Uma tabela foi gerada a fim de comparar os resultados obtidos através do coeficiente de regressão e aqueles obtidos através do ensaio. A equação apresentou 94,8% de precisão (considerando o desvio padrão) e erro máximo de 2,3 Shore D, conforme pode ser observado na Tabela 17.

Tabela 17 - Comparação entre os resultados obtidos através do ensaio de dureza e aqueles obtidos pelo coeficiente de regressão (PEAD).

	Condição de processamento	D (Shore D)	DV		Condição de processamento	D (Shore D)
D obtida	LL	48,7	1,2	D calculada	LL	48,7
	LH	44,3	2,3		LH	44,3
	HL	43,5	1,7		HL	43,5
	HH	42,8	1,5		HH	42,8

A análise estatística colaborou para avaliação da relação entre os parâmetros de processamento e as propriedades obtidas, bem como para definição dos parâmetros utilizados nas etapas posteriores. É importante salientar, no entanto, que os resultados aqui apresentados condizem apenas com as condições aplicadas neste trabalho, a adição de novos parâmetros de entrada, bem como a alteração dos valores dos mesmos acarreta em novos resultados. O constante abastecimento do *software* com informações a respeito dos resultados obtidos através da prática, permite um aumento na confiabilidade.

4.4 Etapa 2

Nesta etapa uma blenda foi produzida utilizando 50% em massa de cada polímero (PSAI/PEAD), foram geradas três combinações utilizando 2, 5 e 10% em massa de SEBS. Após as etapas de mistura, processamento por extrusão e injeção, os corpos de prova foram testados quanto à resistência ao impacto, resistência à tração e dureza, além disso, os corpos de prova após rompimento passaram por microscopia eletrônica de varredura (MEV) a fim de avaliar sua fratura.

Para esta etapa os parâmetros de processamento foram definidos de acordo com os melhores resultados obtidos na etapa anterior, desta forma para velocidade da rosca (V_r) foi utilizado 40 RPM e a temperatura de processamento (T_p) foi de 210°C, valor intermediário aos utilizados anteriormente.

A velocidade da rosca havia influenciado de forma negativa na maioria dos resultados, ou teve baixa significância. A redução da mesma facilita o processamento, reduz a degradação por cisalhamento e representa redução no custo de processamento. Uma temperatura intermediária à utilizada anteriormente encontra-se dentro da faixa de processamento de ambos os materiais, desta forma, reduz a degradação térmica.

4.4.1. Índice de Fluidiez

A Tabela 18 apresenta os valores obtidos para o Índice de Fluidiez das blendas.

Tabela 18 - Índice de Fluidiez para blendas PEAD/PSAI/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

	PSAI/PEAD/SEBS (%)	IF (g/10min)	DV
IF obtido	50/50/2	4,10	0,02
	50/50/5	2,99	0,03
	50/50/10	2,36	0,03

Para melhor visualização dos resultados um gráfico foi gerado e está apresentado na Figura 69.

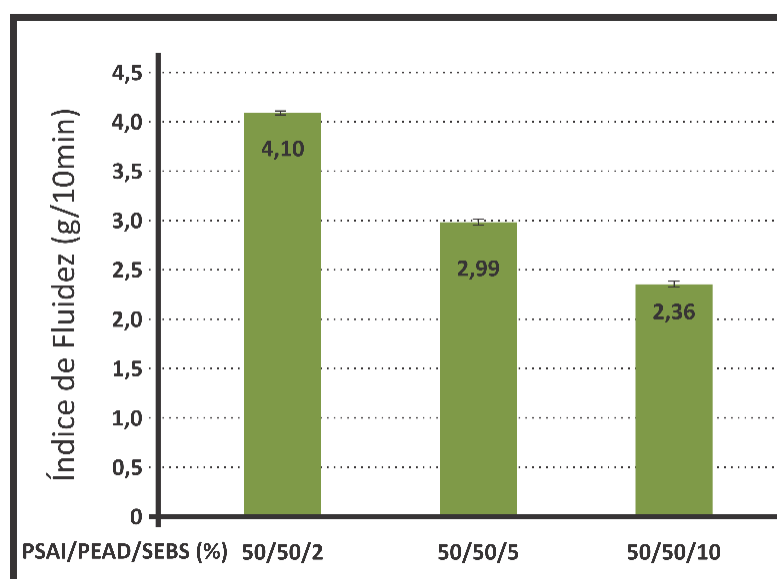


Figura 69. Índice de fluidiez para as blendas PEAD/PSAI/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

A redução do IF relacionada ao aumento da quantidade de agente compatibilizante sugere uma maior adesão entre as fases, demonstrando que a variação do IF depende da compatibilidade da blenda e não apenas das propriedades físicas de seus constituintes (MELLO, 2010). Para a blenda que utilizou 10% de SEBS, em massa, a redução no IF ficou próxima a 60%.

4.4.2. Resistência ao impacto

A Tabela 19 apresenta os valores obtidos para resistência ao impacto, bem como o desvio padrão.

Tabela 19 – Resistência ao impacto para as blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

	PSAI/PEAD/SEBS (%)	RI (J/m)	DV
RI obtido	50/50/2	102,11	13,49
	50/50/5	92,02	11,89
	50/50/10	152,63	23,90

Um gráfico foi gerado para melhor visualização dos resultados, o mesmo encontra-se na Figura 70.

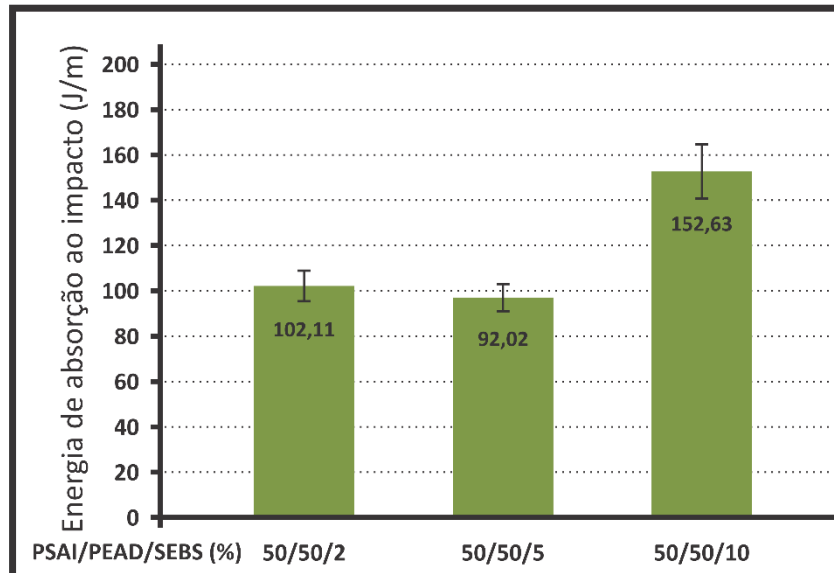


Figura 70. Resistência ao impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

A Figura 70 mostra que a resistência ao impacto aumentou significativamente para a blenda contendo 10% de SEBS, o que indica uma maior interação entre as fases presentes e, por consequência, fortalecimento da interface do sistema (MÉLO et. al, 2000). Uma melhor

interação reduz a presença de microvazios nas interfaces, que poderiam acarretar na formação e propagação de microtrincas, resultando em baixa resistência (FOLKES & HOPE, 1993).

A melhor condição encontrada apresenta uma blenda que contém 10% de SEBS.

4.4.3. Resistência à tração

A Tabela 20 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração, bem como o desvio padrão.

Tabela 20 – Resistência à tração e módulo de elasticidade das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

	PSAI/PEAD/SEBS (%)	RT (MPa)	DV		ME (MPa)	DV
RT obtido	50/50/2	3,39	0,13	ME obtido	435	20
	50/50/5	3,18	0,05		397	11
	50/50/10	2,94	0,04		356	29

Um gráfico foi gerado para melhor visualização dos resultados, o mesmo é mostrado na Figura 71.

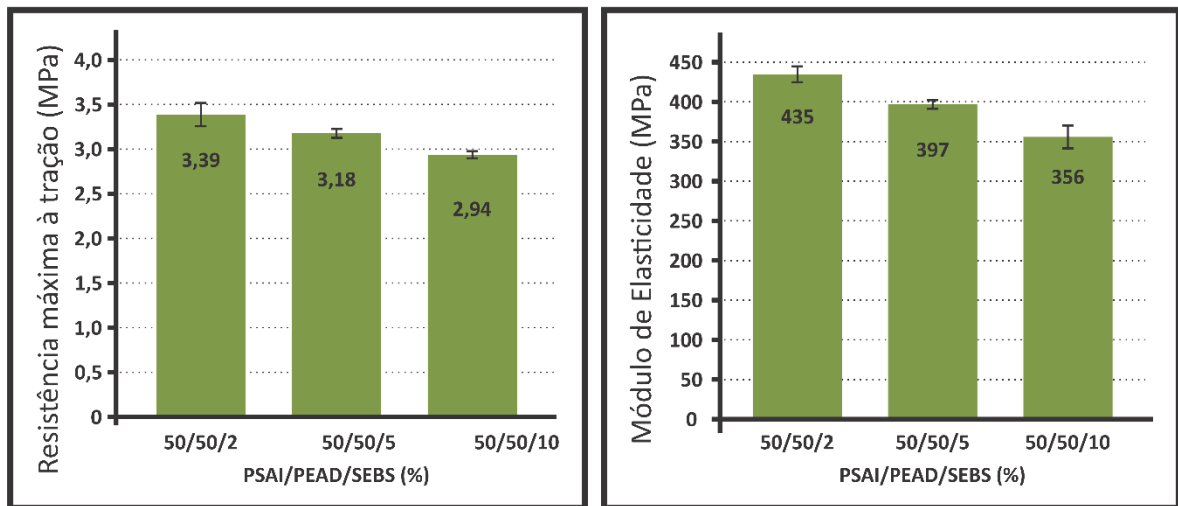


Figura 71. Resistência à tração e módulo de elasticidade das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

Pode observar através da Figura 71 que tanto o módulo de elasticidade quanto a resistência máxima à tração apresentaram valores máximos para a blenda com 2% de SEBS, indicando que, dentre as composições investigadas, esta composição otimiza a rigidez da blenda (MÉLO et. al, 2000).

4.4.4. Dureza

O gráfico da Figura 72 apresenta os valores de dureza Shore D, obtidos para as blendas.

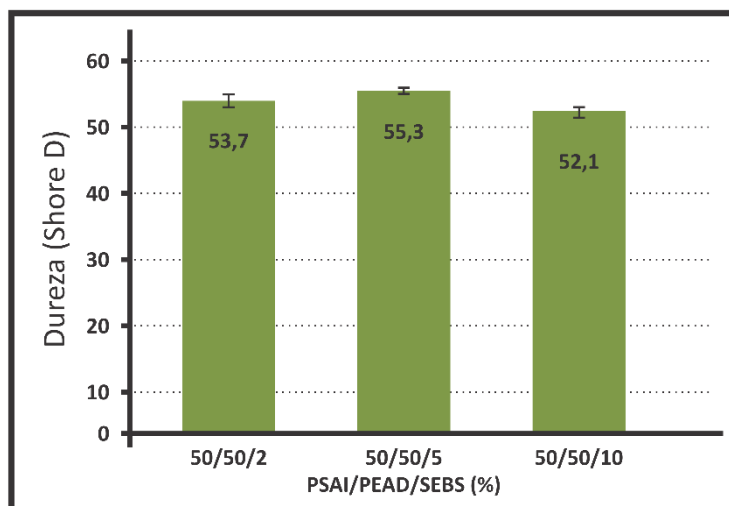


Figura 72. Dureza das blendas PSAl/PEAD/SEBS contendo 2, 5 e 10% de SEBS.

Foram encontrados maiores valores de dureza nas amostras contendo 5% de SEBS, porém não foi encontrada uma tendência referente ao aumento na quantidade de agente compatibilizante. Os resultados demonstraram uma pequena variação entre as diferentes blendas, considerando o desvio padrão.

4.4.5. Análise térmica

A Tabela 21 apresenta os resultados da análise DSC para as blendas contendo 2 e 10% de SEBS. Através da análise pode-se obter os valores de entalpia e temperatura de fusão para o primeiro e o segundo aquecimento, entalpia, temperatura e tempo de cristalização e a cristalinidade das blendas.

Tabela 21. Comportamento térmico das blendas PSAl/PEAD compatibilizadas com 2 e 10% de SEBS.

DSC									
PSAl/PEAD/SEBS (%)	1° Aquecimento			Resfriamento			2° Aquecimento		
	Tf (°C)	ΔH_f (J/g)	Xc	Tc (°C)	ΔH_c (J/g)	Tc (min)	Tf (°C)	ΔH_f (°C)	Xc
50/50/2	128,2	80,6	55	118,1	86,3	3,5	130,5	95,79	65
50/50/10	127,5	74,73	51	118,3	81,79	4,3	130,2	87,4	60

Pode-se observar uma pequena redução nos valores de entalpia de fusão do PEAD, provavelmente influenciado pelo aumento da concentração de agente compatibilizante. Tal comportamento sugere uma maior diluição de PEAD decorrente da fração de moléculas de compatibilizante que se dispersaram mais amplamente nos componentes individuais da blenda (PEREZ et. al, 2008). Isto proporciona maior movimentação molecular da fase cristalina PEAD, acarretando em cristais menos perfeitos e em menor grau de cristalinidade X_c , atingindo mais facilmente a fusão (CHEN, B et. al, 2002).

A redução da ΔH_f e X_c , mesmo que pequena, significa redução de consumo de energia no processo e consequentemente redução nos custos de produção. No entanto, neste caso a adição de uma maior quantidade de agente compatibilizante representa, também, um aumento no custo da matéria-prima (PEREZ et. al, 2008; SOUZA, 2007).

A Figura 73 apresenta o comparativo entre as curvas DSC para as blendas de PSAI/PEAD com adição de 2 e 10% de SEBS, em massa.

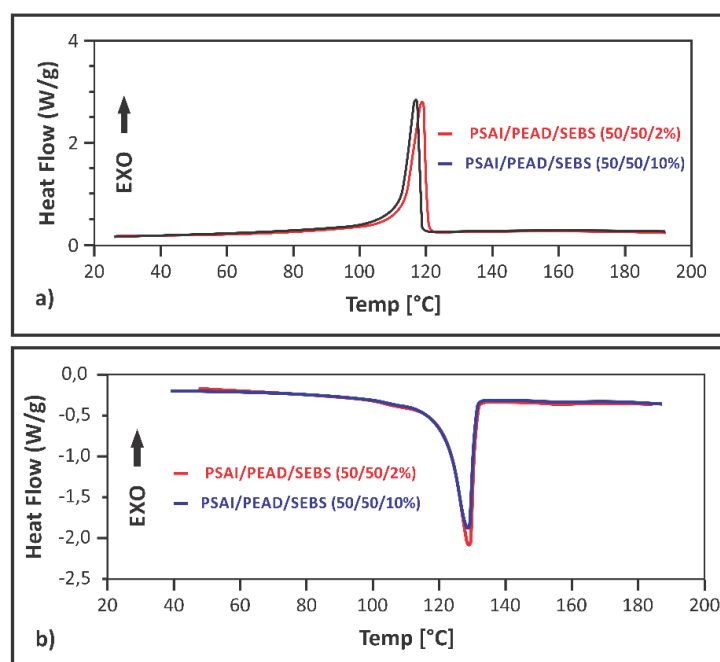


Figura 73. a) Comparativo entre as curvas de DSC do resfriamento. b) Comparativo entre as curvas do segundo aquecimento.

Apesar do aumento percentual significativo de SEBS, pode-se observar que as variações nas curvas do DSC foram sutis. A amostra contendo 5% de SEBS não foi analisada pelo fato de haver apresentado propriedades mecânicas inferiores aquelas contendo 2 e 10% de agente compatibilizante.

4.5 Etapa 3

Após análise e interpretação dos resultados obtidos na etapa anterior foram formuladas duas novas blendas PSAI/PEAD, uma com 75/25% em massa e outra com 25/75%, ambas utilizaram 2% em massa de SEBS e tiveram suas propriedades comparadas a blenda 50/50% que utilizou, também, 2% de SEBS.

A escolha pela compatibilização utilizando 2% se dá, principalmente, pelo fato de representar um menor custo para matéria-prima, já que PSAI e PEAD são materiais pós-consumo e o agente compatibilizante virgem.

Os parâmetros de processamento utilizados nesta etapa são os mesmos utilizados na etapa 2.

4.5.1. Resistência ao impacto

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos no ensaio de resistência ao impacto.

Tabela 22 – Resistência ao impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.

	PSAI/PEAD/SEBS (%)	RI (J/m)	DV
RI obtido	50/50/2	102,11	13,49
	75/25/2	89,41	7,32
	25/75/2	202,58	19,47

Um gráfico foi gerado para melhor representação dos resultados e está representado na Figura 74.

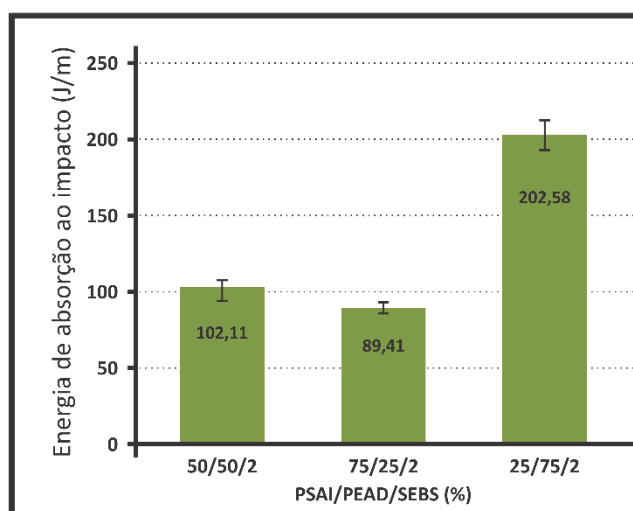


Figura 74. Resistência ao impacto das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.

A resistência ao impacto, conforme pode ser observado na Figura 74, sofreu significativa variação com relação à quantidade de cada polímero, resultando em uma maior resistência na blenda que continha 75%, em massa, de PEAD. Este resultado já era esperado visto que o PEAD apresenta maior resistência ao impacto, além do fato de blendas PSAI/PEAD serem imiscíveis.

A imiscibilidade das blendas pode ser observada pelo fato de os valores encontrados neste ensaio ficarem abaixo daqueles encontrados na primeira etapa para PEAD e PSAI puros (MUNARO, 2007; MACAÚBAS & DEMARQUETTE, 1999).

4.5.2. Resistência à tração

A Tabela 23 apresenta os resultados obtidos para o ensaio de resistência à tração.

Tabela 23 – Resistência à tração das blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.

	PSAI/PEAD/SEBS (%)	RT (MPa)	DV		ME (MPa)	DV
RT obtido	50/50/2	3,39	0,13	ME obtido	435	20
	75/25/2	3,65	0,02		543	27
	25/75/2	3,33	0,08		317	34

Um gráfico foi gerado para melhor visualização dos resultados. O mesmo está representado na Figura 75.

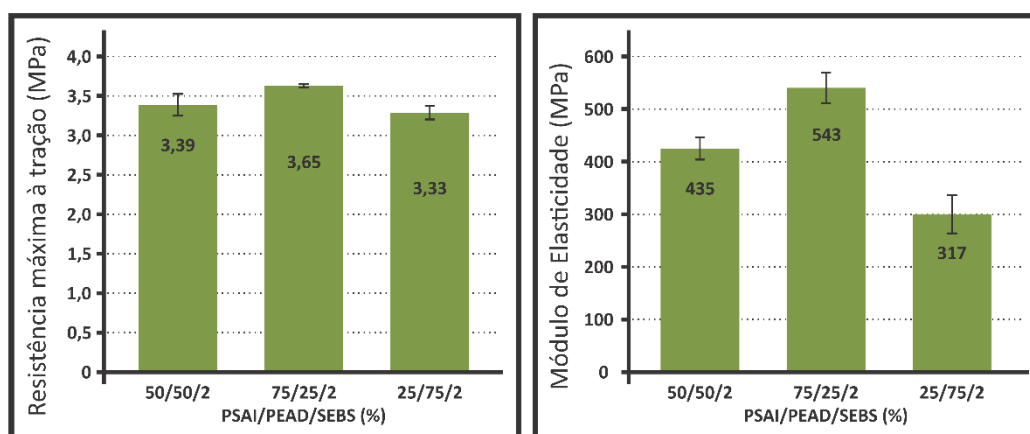


Figura 75. Resistência máxima à tração e módulo de elasticidade para as blendas PSAI/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.

Pode-se observar que os maiores valores para a resistência máxima à tração e módulo de elasticidade foram obtidos nas blendas que continham 75%, em massa, de PSAI. Este resultado reflete a predominância da fase PSAI, que apresenta maior rigidez. Ambos os

resultados encontrados para as blendas foram menores que aqueles obtidos por cada polímero individualmente.

Blendas imiscíveis podem apresentar variações positivas ou negativas, em suas propriedades, aquelas encontradas nos polímeros puros devido às interações fracas, estes resultados podem ser modificados através da utilização de agentes compatibilizantes, bem como através da variação dos parâmetros de processamento (XANTHOS & DAGLI, 1991; MUNARO, 2007).

4.5.3. Dureza

A Figura 76 apresenta os resultados para dureza das blendas.

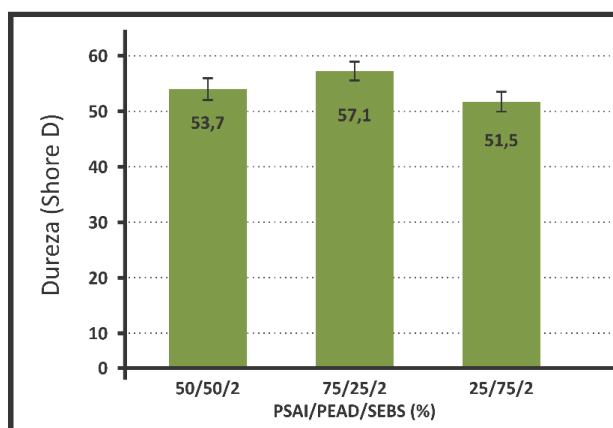


Figura 76. Dureza das blendas PSAl/PEAD/SEBS contendo 2% de SEBS.

Os resultados do ensaio de dureza apontaram uma maior dureza para a blenda com 75% de PSAl. Estes resultados permaneceram mais próximos aos encontrados com os polímeros puros, possivelmente devido à dureza estar relacionada às propriedades de superfície dos polímeros e não diretamente com a adesão entre as fases (FEITOSA, 2008).

4.5.4. Injeção do produto

Após avaliação das propriedades obtidas, o produto desenvolvido por Abich e Molon (2011) foi injetado utilizando como matéria-prima a blenda PSAl/PEAD/SEBS 25/75/2 e os mesmos parâmetros de processamento da etapa 3. Essa blenda foi escolhida principalmente pelos resultados de resistência ao impacto, maiores que as demais blendas, além da menor dureza.

5 CONCLUSÕES

A variação dos parâmetros de processamento influenciou os resultados obtidos para os polímeros puros (pós-consumo), justificando a necessidade de um estudo aprofundado das relações existentes entre parâmetros de processamento e propriedades obtidas.

O delineamento estatístico demonstrou ser uma ferramenta eficiente para otimização do processamento de polímeros reciclados e, conseqüentemente, contribuiu para a demonstração da viabilidade da utilização de resíduos poliméricos para fabricação de um produto com alto valor agregado.

Para as amostras de PSAI a variação na temperatura de processamento influenciou significativamente, de forma positiva, na resistência ao impacto, resistência à tração e dureza e, de forma negativa, no índice de fluidez. Já a velocidade da rosca influenciou significativamente, de forma positiva, na resistência ao impacto e à tração e, de forma negativa, no índice de fluidez.

Para as amostras de PEAD a variação na temperatura de processamento influenciou significativamente, de forma positiva, no índice de fluidez e, de forma negativa na resistência à tração e dureza. Já a velocidade da rosca influenciou significativamente, de forma positiva, na resistência à tração e, de forma negativa, no índice de fluidez, resistência ao impacto e dureza. Em ambos os materiais, levando em consideração apenas os valores utilizados neste trabalho.

O aumento da concentração de agente compatibilizante em blendas que utilizaram 50%, em massa, de cada polímero influenciou de forma positiva na maioria das propriedades avaliadas, comprovando a imiscibilidade destes polímeros e a necessidade de compatibilização.

Nas blendas processadas com uma relação de PSAI/PEAD 25/75%, em massa, utilizando 2% de SEBS, as propriedades mecânicas foram inferiores àquelas encontradas nos polímeros puros, no entanto, satisfatórias para utilização no produto deste trabalho.

Este trabalho apresentou uma proposta viável que visa utilização de resíduos pós consumo para a fabricação de um produto de tecnologia assistiva, desta forma, contribuindo para sustentabilidade e inclusão social. Os dados apresentados no referencial teórico apontam uma necessidade de investimentos nessas duas áreas.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Estimar a influência dos parâmetros de injeção nas propriedades da blenda obtida.

Aumentar o número de variáveis de entrada (parâmetros de processamento).

Testar a influência de outros agentes compatibilizantes.

Construir um molde piloto para injeção de um conjunto de teclas.

Avaliar os custos para produção em escala industrial do produto desenvolvido.

REFERÊNCIAS

ABICH, D. & MOLON, N. R. **Criação de um produto baseado nos conceitos de Tecnologia Assistiva para auxiliar na inclusão de pessoas com deficiência visual.** Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Sul-rio-grandense de Educação, Ciência e Tecnologia (IFSUL) para obtenção do título do Tecnólogo em Fabricação Mecânica. Sapucaia do Sul/RS, 2011.

ABIPLAST. **Perfil Plástico 2012: Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico.** Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/estatistica/perfil2012_versao_eletronica.pdf>. Acesso em: 18 de Abril de 2014.

ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2012.** São Paulo, SP: Grappa Editora e Comunicação, 2013. ISSN 2179-8303.

AJJI, A. & UTRACKI, L. A. **Interphase and Compatibilization of Polymer Blends.** Polymer Engineering and Science, vol. 36, n° 12, 1996, Pág. 1574-1585.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM 5033-00: Recycling and Use of Recycled Plastics.** 2007.

ASALETHA, R.; KUMARAN, M. G.; THOMAS, S. **Thermoplastic elastomers from blends of polystyrene and natural rubber: morphology and mechanical properties.** European Polymer Journal. Vol.35, 1999. Pág. 253-271.

ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico.** Elsevier, RJ – 2012 - ISBN 978-85-352-4521-9.

ASHBY, M. F. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 596pág. ISBN 978-85-352-4521-9

ASSASSA, F. & MARQUARDT, W. **Dynamic optimization using adaptive direct multiple shooting.** Computers and Chemical Engineering, vol.60, 2014. Pág. 242-259.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13230: Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos.** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos.** Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15792:2010 - Embalagem — Índice de reciclagem — Definições e método de cálculo.** Rio de Janeiro. 8 páginas.

ÁVILA, A. F. & DUARTE, M. V. **A mechanical analysis on recycled PET/HDPE composites.** Polymer Degradation and Stability, vol. 80, 2003. Pág. 373-382.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial.** Editora Artmed. Porto Alegre, 2006. 616 páginas.

BERKHOUT, F.; SMITH, D. **Products and the environment: an integrated approach to policy**. European Environment, 1999. vol.9. pág.174–85.

BERSCH, R. C. R. **Design de um serviço de tecnologia assistiva em escolas públicas**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para obtenção do título de mestre. Porto Alegre, 2009.

BILLMEYER Jr., F. W. **Textbook of Polymer Science**. 3rd. ed. New York, J. Wiley, 1984. 596 páginas. ISBN: 0-471-03196-8.

BISIO, A. L. & XANTHOS, M. **How to manage plastic waste: technology and Market opportunities**. Ed. Hanser Publishers: New York, 1994. 252 páginas.

BORG, J. et. al. **Assistive technology in developing countries: a review from the perspective of the Convention on the Rights of Persons with Disabilities**. Prosthetics and Orthotics International. Vol. 35(1), 2011. Pág. 21-29.

BRANDRUP, J. et. al. **Recycling and Recovery of Plastics**. Ed. Carl Hanser Verlag: München, 1996. 893 páginas.

BRASIL. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência**. Coordenação-Geral do Sistema de Informações sobre a Pessoa com Deficiência. Brasília: SDH-PR/SNPD, 2012. 32 p.

BRASIL. **Decreto nº 3.298**, de 20 de Dezembro de 1999.

BRASIL. **Decreto nº 5.296**, de 02 de Dezembro de 2004.

BRASIL. **Lei nº 11.274**, de 06 de Fevereiro de 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de Agosto de 2010.

BRASIL. **Política Nacional de Educação Especial na Perspectiva da Educação Inclusiva**. MEC/SEESP. 2007.

BRASIL. Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas. **Tecnologia Assistiva**. – Brasília: CORDE, 2009. 138 p.

BRASIL. **Tecnologia assistiva nas escolas: Recursos básicos de acessibilidade sócio-digital para pessoas com deficiência**. ITS Brasil, 2008. 62p.

CÁCERES, C. A. & CANEVAROLO, S. V. **Cisão de cadeia na degradação termomecânica do Poliestireno sob múltiplas extrusões**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, nº4, p. 348-352, 2008.

CANDIAN, L. M.; DIAS, A. A. **Estudo do Polietileno de Alta Densidade Reciclado para Uso em Elementos Estruturais**. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 11, n. 51, p. 1-16, 2009.

CANEVAROLO Jr, S. V. **Ciência dos Polímeros: Um texto básico para Tecnólogos e Engenheiros**. São Paulo, Artliber Editora, 2002.

CARTER, C. R. & ELLRAM, L. M. **Reverse Logistics: a review of the literature and framework for future investigation.** *International Journal of Business Logistics*, v.19, nº 1, 1998. Pág.85-103.

CAT. Hotel Nacional em Brasília. **Ata de reunião realizada no dia 13 e 14 de Dezembro de 2007.**

CATTO, A. L. **Estudo da compatibilização da matriz poliolefínica em compósitos termoplásticos a partir de resíduos pós-uso.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Minas, Materiais e Metalurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para obtenção do título de Mestre. Porto Alegre, 2012.

CDSS. **Redução das desigualdades no período de uma geração. Igualdade na saúde através da ação sobre os seus determinantes sociais.** Relatório Final da Comissão para os Determinantes Sociais da Saúde. Portugal, Organização Mundial da Saúde. 2010. ISBN 978924856370-6. 276p.

CEMPRE. **Pesquisa Ciclosoft 2012: Radiografando a Coleta Seletiva.** Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/Ciclosoft2012.pdf>>. Acesso em: 18 de Abril de 2014.

CERQUEIRA, J. B. et al. **Grafia Braille para a Língua Portuguesa.** Ministério da Educação. Secretaria de Educação Especial. Brasília. SEESP, 2006, 106p.

CETESB:SINDIPLAST. **Guia Ambiental da Indústria de transformação e reciclagem de materiais plásticos.** São Paulo, 2011.

CHANGYU, S.; LIXIA, W.; QIAN, L. **Optimization of injection molding process parameters using combination of artificial neural network and genetic algorithm method.** *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 183, 2007. Pág. 412-418.

CHEN, B.; LI, X.; XU, S.; TANG, T.; ZHOU, B.; HUANG, B. **Compatibilization effects of block copolymers in high density polyethylene/syndiotactic polystyrene blends.** *Polymer*, vol. 43, 2002. Pág. 953-961.

CHENG, J.; LIU, Z.; TAN, J. **Multiobjective optimization of injection molding parameters based on soft computing and variable complexity method.** *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 66, 2013. Pág. 907-916

CHRISTOFF, P. **Ecological modernisation, ecological modernities.** *Environmental Politics*. vol. 5, 1996. Pág. 476–500.

CLARK, K. B. & FUJIMOTO, T. **Product development performance: strategy, organization and management in the world auto industry.** Boston: HBS Press, 1991.

COAQUIRA, C. A. C. **Nível de degradação termomecânica e coleta de compostos orgânicos voláteis durante a extrusão de polímeros.** Tese apresentada ao Programa de Pós-

Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de Doutor, São Carlos/SP, 2008.

COOK, A. M., & HUSSEY, S. M. **Assistive Technologies: Principles and Practices**. St. Louis, Missouri. Mosby - Year Book, Inc, 1995.

COWAN, R. E. et. al. **Recent trends in assistive technology for mobility**. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation. Vol.9(20). Pág. 1-8. 2012.

CUNHA, F. R. et. al. **Influence of reaction operation conditions on the final properties of high impact polystyrene (HIPS)**. Brazilian Journal of Chemical Engineering, vol. 30, nº3, 2013. Pág. 575-587.

DDHC – Exclusão, Segregação, Integração e Inclusão.
<<http://ddhccreremas.blogspot.com.br/2013/06/exclusao-segregacao-integracao-e.html>>
Acesso em: 20 de Abril de 2014.

De PAOLI, M. A. **Degradação e estabilização de polímeros**. Chemkeys, 2008. 2ª versão on line. 221 páginas.

DOWLATSHAHI, S. **An application of design of experiments for optimization of plastic injection molding process**. Journal of Manufacturing Technology Management, vol. 15, nº6, 2004. Pág. 445-454

EBEWELE, R. O. **Polymer Science and Technology**. CRC Press LLC, 1996. 544 páginas. ISBN: 0-8493-8939-9

ESPÍNDOLA, L. C. **Reciclagem de plásticos pós-consumo misturados não reaproveitados pelos centros de triagem de Porto Alegre**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para obtenção do título de Mestre. Porto Alegre, 2004.

FAÇANHA, A. R. **Auxiliando o Processo de Ensino-Aprendizagem do Braille Através de Dispositivos Touch Screen**. Informática na Educação: Teoria e Prática. Vol. 15, nº2. Pág. 153-159. 2012.

FARSHI, B.; GHESHMI, S.; MIANDOABCHI, E. **Optimization of injection molding process parameters using sequential simplex algorithm**. Materials and Design, vol.32, 2011. Pág. 414-423.

FEITOSA, M. A. F. **Compatibilização de blenda polimérica de poliamida 6,6/polietileno de baixa densidade utilizando radiação ionizante de feixe de elétrons**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciências na área de Tecnologia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/USP, para obtenção do título do Mestre. São Paulo/SP, 2008.

FELDMAN, D. & BARBALATA, A. **Synthetic Polymers: Technology, properties, applications**. Springer, 1996. 370 páginas. ISBN: 0412710404

FÊNIXDV. **Produtos e Serviços para Cegos**. Disponível em: <www.fenixdv.com.br>. Acesso em 10 de Novembro de 2014.

FERRONI, M. C. C. & GASPARETTO, M. E. R. F. **Escolares com baixa visão: percepção sobre as dificuldades visuais, opinião sobre as relações com comunidade escolar E o uso de recursos de tecnologia assistiva nas atividades cotidianas.** Revista Brasileira Edição Especial. Vol. 18, n2, 2012. Pág. 301-318.

FOLKES, M. J. & HOPE, P. S. **Polymer Blends and Alloys.** Springer Editora, 1993. ISBN-10: 0751400815. 262 páginas.

FORTE, C. M.; MIRANDA, M. S. L.; DUPONT, J. **Novas resinas produzidas com catalisadores metalocênicos.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1996. Pág. 49-60.

FOX, D. W. & ALLEN, R. B. **Compatibility In: Encyclopedia of Polymer Science and Engineering.** John-wiley, vol.3, Ed.2. New York, 1985. 769 pág.

GALDAMEZ, E. V. C. & CARPINETTI, L. C. R. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica.** Gestão e Produção, vol.11, n°1, 2004. Pág. 121-134.

GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M. V. B. **An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling.** Journal of Cleaner Production, vol.46, 2013. Pág. 48-57.

GIL, M. **Deficiência Visual** – Brasília: MEC. Secretaria de Educação a Distância, 2000. 80 p. (Cadernos da TV Escola. 1. ISSN 1518-4692) – Brasília/BR.

GIRALDI, A. L. F. M.; JESUS, R. C.; MEI, L. H. I. **The influence of extrusion variables on the interfacial adhesion and mechanical properties of recycled PET composites.** Journal of Materials Processing Technology, vol. 162-163, 2005. Pág. 90-95.

GONELLA, L. B. **Compatibilização de blendas de polipropileno/nylons.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para obtenção do título de Mestre. Porto Alegre, 2001.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B.R. **Industrial Ecology.** Ed. Prentice-Hall. 2ª edição, 2003. 363 páginas.

GRASSI, V.G.; FORTE, M. M. C.; Dal PIZZOL, M. F. **Aspectos morfológicos e relação estrutura-propriedades de poliestireno de alto impacto.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol.11, n°3, 2001. Pág. 158-168.

GU, R. & KOKTA, B. V. **Maximization of the Mechanical Properties of Birch-Polypropylene Composites with Additives by Statistical Experimental Design.** Journal of Thermoplastic Composite Materials, vol. 23, 2010. Pág. 239-263.

HERNÁNDEZ, C. T.; MARINS, F. A. S.; CASTRO, R. C. **Modelo de gerenciamento da Logística Reversa.** Gestão e Produção, v.19, n°3, 2012. Pág. 445-456.

HUI et. al. **Application of dissolved air flotation on separation of waste plastics ABS and PS.** Waste Management. Vol. 32, 2012. 1297-1305.

IHEMOUCHEN, C. et. al. **Effect of Compatibilizing Agents on the Mechanical Properties of High-Density Polyethylene/Olive Husk Flour Composites.** Journal of Applied Polymer Science, vol. 128, n°3, 2013. Pág. 2224-2229.

INEP. **Censo de Educação Básica: 2012 – Resumo Técnico.** Brasília, 2013. 41p. ISBN 978-85-7863-023-2.

JANSEN, K. M. B.; VAN DJIK, D. J.; HUSSELMAN, M. H. **Effect of Processing Conditions on Shrinkage in Injection Molding.** Polymer Engineering and Science, vol.38, n°5, 1998. Pág. 838-846

LAGARINHOS, C. A. F. & TENÓRIO, J. A. S. **Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil.** Polímeros, vol.23, n°1, 2013. Pág. 49-58.

LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade.** Prentice Hall: São Paulo, 2003. 256 páginas.

LIMA, F. P. A. et. al. **Tecnologias Sociais da Reciclagem: Efetivando Políticas de Coleta Seletiva com Catadores.** Revista Interinstitucional de Psicologia. Vol. 4(2). Dezembro, 2011. Pág. 131-146.

LIMA, N. M. **Legislação Federal Básica na área da pessoa portadora de Deficiência.** Brasília: Secretaria Especial dos Direitos Humanos, Coordenadoria Nacional para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência, 2007.

LIPATOV, Y. S. **Polymer blends and interpenetrating polymer networks at the interface with solids.** Progress in Polymer Science, vol.27, 2002. Pág. 1721-1801.

LJUNGBERG. L. Y. **Materials selection and design for development of sustainable products.** Materials and Design. vol.28. 2007. Pág. 466-479.

MACAÚBAS, P. H. P. & DEMARQUETTE, N. R. **Interfacial Tension, Morphology and Linear Viscoelasticity Behavior of PP/PS Blends.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1999. Pág. 71-79.

MACAÚBAS, P. H. P. & DEMARQUETTE, N. R. **Morphologies and interfacial tensions of immiscible polypropylene/polystyrene blends modified with triblock copolymers.** Polymer, vol. 42, 2001. Pág. 2543-2554.

MACIEL, A. S.; **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis* em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MEHAT, N. M.; KAMARUDDIN, S.; OTHMAN, A. R. **Modeling and Analysis of Injection Moulding Process Parameters for Plastic Gear Industry Application.** ISRN Industrial Engineering, 2013. Pág. 1-10.

MELLO, F. B. **Blenda PP/HIPS: Compatibilização, propriedades e processamento por rotomoldagem.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Minas, Materiais

e Metalurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre, Porto Alegre/RS, 2010.

MÉLO, T. J. A.; CARVALHO, L. H.; CALUMBY, R.B.; BRITO, K. G. Q.; D'ALMEIDA, J. R. M.; SPIETH, E. **Propriedades mecânicas e morfologia de uma blenda polimérica de PP/HIPS compatibilizada com SEBS**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 10, nº2, 2000. Pág. 82-89.

MONT, D. **Measuring Disability Prevalence**. SP Discussion Paper. Nº0706, 2007.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. Ed.8, Wiley, 2012. 752 páginas.

MUNARO, M. **Desenvolvimento de blendas de polietileno com desempenho aperfeiçoado para utilização no setor elétrico**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) para obtenção do título de Doutor(a). Curitiba, 2007.

NAGALLI, A. **Diagnóstico e avaliação dos impactos ambientais de aterros de disposição de resíduos no estado do Paraná – Estudo de caso dos municípios de Jacarezinho e Barra do Jacaré**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná (UFPR) para obtenção do título de Mestre. Curitiba, 2005.

NETO, J. C. M. & ROLLEMBERG, R. S. **Tecnologia Assistiva e a promoção da Inclusão Social**. Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, 2005.

NUNES, K. R. A.; MAHLER, C. F.; VALLE, R. A. **Reverse logistics in the Brazilian construction industry**. *Journal of Environmental Management*, vol.90, 2009. Pág. 3717-3720.

OMS. **Classificação internacional de funcionalidade, incapacidade e saúde**. São Paulo: Edusp. 2003. 238p.

OMS. **International statistical classification of diseases and related health problems**. vol. 3, ed. 2010. 195p. ISBN 978924154834-2.

OMS. **Relatório mundial sobre a deficiência**. ISBN - 978-85-64047-02-0, 2011.

OZCELIK, B. & ERZURUMLU, T. **Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm**. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 171, 2006. Pág. 437-445.

PEREZ, I. S. B.; MANRICH, S.; MANRICH, S. **Efeito da adição de diferentes copolímeros em blendas HDPE/HIPS pós-consumo: Morfologia de fase e propriedades térmicas**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, nº 3, 2008. Pág. 207-214.

PINHEIRO, L. A.; CHINELATTO, M. A.; CANEVAROLO, S. V. **The role of chain scission and chain branching in high density polyethylene thermo-mechanical degradation.** Polymer Degradation and Stability, vol. 86, n°3 p. 445-453, 2004,

PINTO, J. C. **Impactos Ambientais causados pelos Plásticos.** Editora: E-papers. 1ª Edição, 2012. 296 páginas. ISBN 8576503417.

PIVA, A. M. & WIEBECK, H. **Reciclagem do Plástico: Como fazer da reciclagem um negócio lucrativo.** São Paulo, Artliber Editora, 2004.

PLASTICS EUROPE. **Plastics – The facts 2013: An Analysis of European plastics production, demand and waste data.** Plastics Europe. 2013. Disponível em <<http://www.plasticseurope.org/Document/plastics-the-facts-2013.aspx?FolID=2>>. Acesso em: 18 de Abril de 2014.

PORTAL da Saúde. **Política Nacional de Saúde da pessoa com deficiência.** Disponível em: <<http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/manual2.pdf>> Acesso em: 12 de Abril de 2014.

RAMIRO, J.; EGUIAZÁBAL, J. I.; NÁZABAL, J. **Structure and mechanical properties of blends of poly(ether imide) and an amorphous polyamide.** European Polymer journal, vol. 42, 2006. Pág. 458-467.

REMÉDIO, M. V. P.; ZANIN, M.; TEIXEIRA, B. A. N. **Caracterização do efluente de lavagem de filmes plásticos pós-consumo e determinação das propriedades reológicas do material reciclado.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, 1999. Pág. 177-183.

RESNIKOFF, S. et al. **Global data on visual impairment in the year 2002.** World Health Organization, Geneve, v. 82, n. 11, p. 844-51, 2004.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. **Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública.** Juiz de Fora, MG. 2010.

ROCHMAN, C. C. & BROWNE, M. A. **Classify plastic waste as hazardous.** Macmillan Publishers Limited. Nature, vol. 494, 2013. Pág. 169-171.

ROVERE, J. et. al. **Caracterização morfológica do Poliestireno de alto impacto (HIPS).** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 18, n°1, 2008. Pág. 12-19

SALMAH, H.; ROMISUHANI, A.; AKMAL, H. **Properties of low-density polyethylene/palm kernel shell composites: Effect of polyethylene co-acrylic acid.** Journal of Thermoplastic Composite Material, vol.26, n°1, 2014. Pág. 3-15.

SARKIS, C. E. **Reciclagem de poliestireno expandido (EPS) para uso na fabricação de perfilados de poliestireno.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para obtenção do título de Mestre. Florianópolis, 2009.

SASSAKI, R.K. **Inclusão: construindo uma sociedade para todos.** Rio de Janeiro: WVA, 1997.

SDH-PR/SNPD. **Cartilha do Censo 2010 – Pessoas com Deficiência.** 2012, 32pág.

SEESP/MEC. **Saberes e práticas da Inclusão**: Desenvolvendo competências para o atendimento às necessidades educacionais especiais de alunos cegos e de alunos com baixa visão. [2.ed.] – Brasília: MEC, Secretaria de Educação Especial, 2006, 208p. (Série: Saberes e práticas da Inclusão).

SEESP/SEED/MEC. **Atendimento Educacional Especializado**. Editora Cromos-PR. Brasília/DF, 2007. 57p.

SHENT, H.; PUGH, R. J.; FORSSBERG, E. **A review of Plastics waste recycling and the flotation of plastics**. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 25, 1999. Pág. 85-109.

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; SANTOS, M. R. **A logística reversa e a sustentabilidade empresarial**. XXX SEMEAD, Setembro-2010. ISSN 2177-3866

SILVA, E. A. & NETO, J. M. M. **Logística Reversa nas Indústrias de Plásticos de Teresina-PI: Um Estudo de Viabilidade**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 21, n°3, 2011. Pág. 246-251.

SIONKOWSKA, A. **Current research on the blends of natural and synthetic polymers as new biomaterials: Review**. Progress in Polymer Science, vol.36, 2011. Pág. 1254-1276.

SIONKOWSKA, A. **Interaction of collagen and poly (vinyl pyrrolidone) in blends**. European Polymer Journal. Vol. 39, 2003. Pág. 2135-2140

SONG, J. et. al. **Blends of polyolefin/PMMA for improved scratch resistance, adhesion and compatibility**. Polymer, vol. 53, 2012. Pág. 3636-3641.

SOTO, M. S. et. al. **Blends of HDPE wastes: Study of the properties**. Waste management, vol. 28, 2008. Pág. 2565-2573.

SOUZA, M. R. **Blenda de poli(tereftalato de etileno) com polietileno de baixa densidade**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre, São Paulo/SP, 2007.

STASSOLA, F. et al. **Assistive technology for promoting choice behaviors in three children with cerebral palsy and severe communication impairments**. Research in Developmental Disabilities. Vol34, 2013. Pág. 2694-2700.

TADMOR, Z & GOGOS, G. C. **Principles of polymer processing**. Ed 2. Wiley-Interscience, 2006 – ISBN 0-471-38770-3.

TRIACCA, V. J. et. al. **Reactive compatibilization of blends of nylon 6 and ABS materials**. Polymer, vol. 32, n°8, 1991. Pág. 1401-1413.

TSAI, K. **Effect of injection molding process parameters on optical properties of lenses**. Applied Optics, vol.49, n°31, 2010. Pág. 6149-6159.

VAN DER VEGT, A. K. **From Polymers to Plastics**. Delft, VSSD, 2005. 268 páginas. ISBN: 9071301621

VARELA, R. C. B & OLIVER, F. C. **A utilização da Tecnologia Assistiva na vida cotidiana de crianças com deficiência**. Ciência & Saúde Coletiva. Vol.18(6). Pag. 1773-1784, 2013

VELÁSQUEZ, E. et. al. **Instability of Styrene / Polystyrene / Polybutadiene / Polystyrene-b-Polybutadiene Emulsions that Emulate Styrene Polymerization in the Presence of Polybutadiene**. Polymer Engineering and Science, 2013. Pág. 1886-1900.

VERONESE, V. B. **Desenvolvimento e avaliação de propriedades de misturas de Poliestireno (PS) e copolímeros em bloco Estireno-Butadieno-Estireno (SBS)**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Minas, Materiais e Metalurgia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) para obtenção do Título de Mestre. Porto Alegre, 2003.

VIGNOL, L. A. **Desenvolvimento de modelos simplificados para o estudo da extrusão de polímeros**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul para obtenção do título de Mestre, Porto Alegre/RS, 2005.

VOGT, F.; DELFINO, G.P.; RORATTO, A. V. G.; HERTER, F. F.; SANTANA, R. M. C. **Resíduo plástico Universitário: Um estudo de caso para o Campus da UFRGS**. 17º CBECIMat – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais - Foz do Iguaçu/PR, 2006. Pág. 9098 – 9107.

WANG, J. et. al. **A dissipative particle dynamics study on the compatibilizing process of immiscible polymer blends with graft copolymers**. Polymer, vol.53, 2012. Pág. 4448-4454.

WANG, L. et. al. **Relationship Between Branch Length and the Compatibilizing Effect of Polypropylene-g-Polystyrene Graft Copolymer on Polypropylene/Polystyrene Blends**. Journal of Applied Science, vol.131, nº7, 2014. Pág. 1-9.

WORLDTOYS. **Loja virtual**. Disponível em: <www.worldtoys.com.br>. Acesso em: 10 de Novembro de 2014.

XANTHOS, M.; DAGLI, S. S. **Compatibilization of polymers blends by reactive processing**. Polymer Engineering and Science, vol. 31, nº13, 1991.

XAVIER, L. H. et al. **Legislação ambiental sobre destinação de resíduos sólidos: o caso das embalagens plásticas pós-consumo**. XIII SIMPEP - Bauru, SP, Brasil, 6 a 8 de novembro de 2006.

YOU, F. et. al. **Synthesis of Polypropylene-Grafted Graphene and Its Compatibilization Effect on Polypropylene/Polystyrene Blends**. Journal of Applied Polymer Science, vol.131, nº13, 2014. Pág. 1-7.

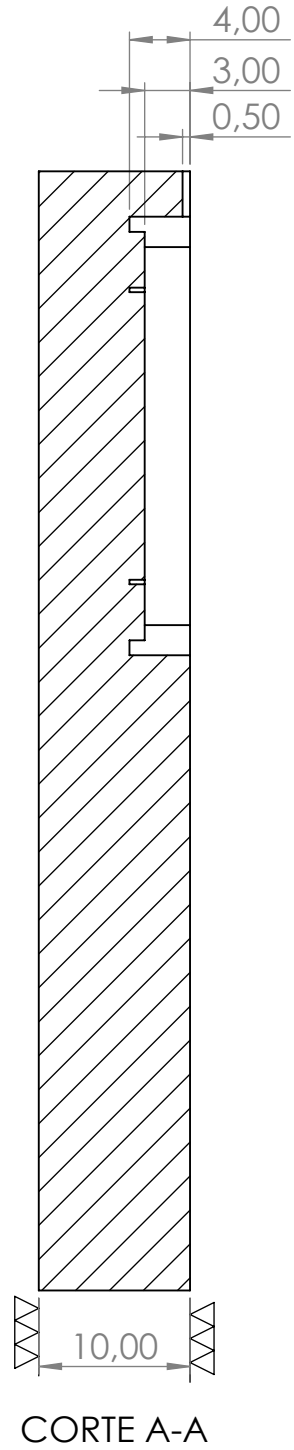
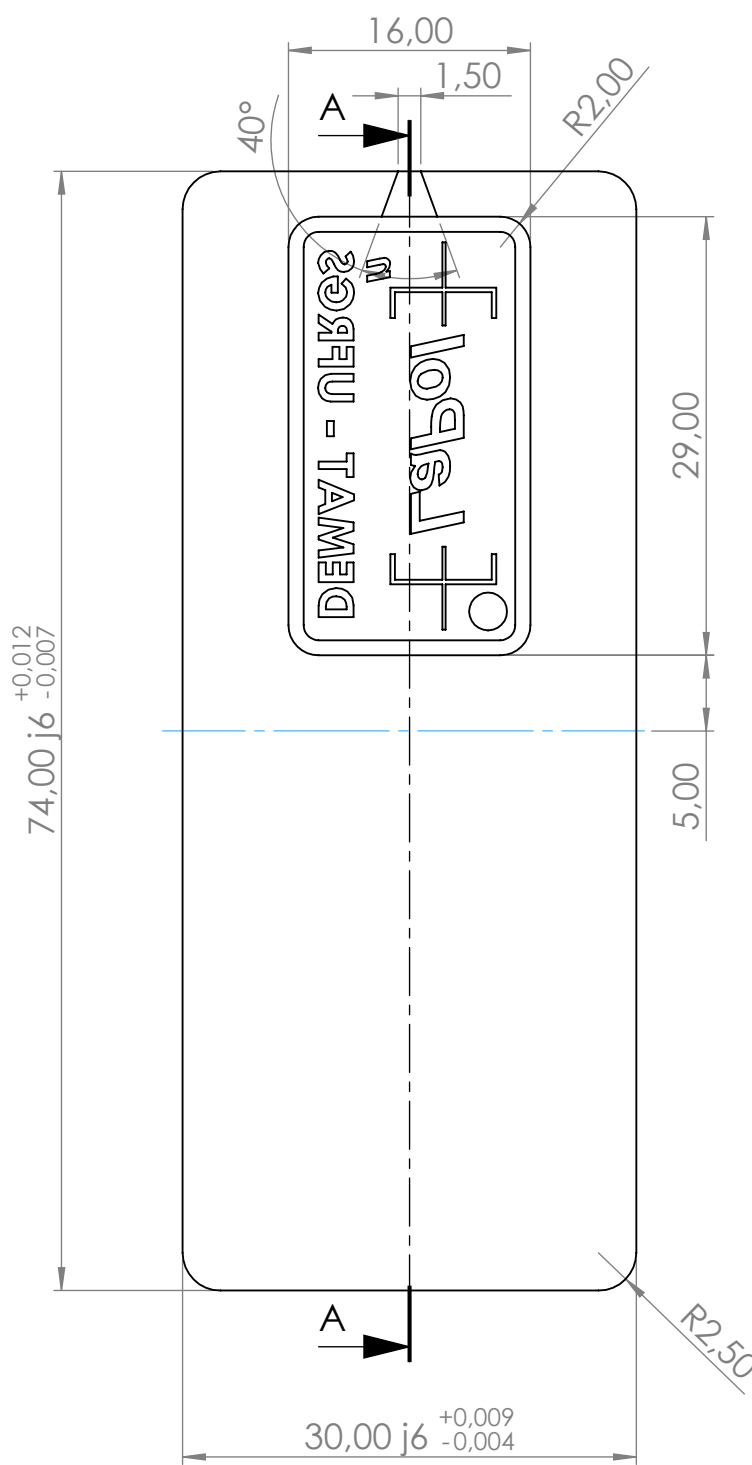
YU, L.; DEAN, K.; LI, L. **Polymer blends and composites from renewable resources.** Progress Polymer Science, vol. 31, 2006. Pág. 576-602.


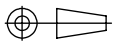
ZBOROWSKI, L. S. **Deformação da fase dispersa e degradação de blendas poliméricas em extrusora dupla-rosca aberta e fechada.** Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia dos Materiais da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de Doutor, São Carlos/SP, 2011.

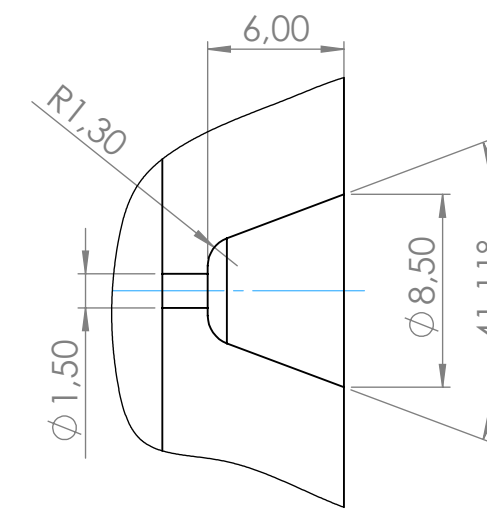
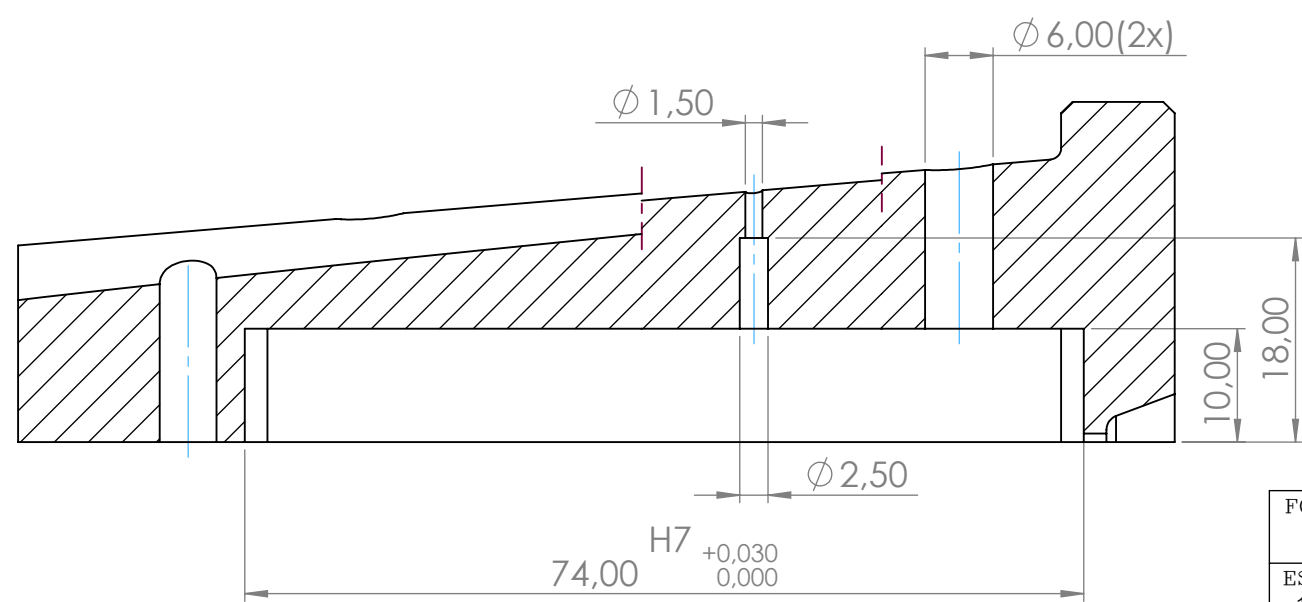
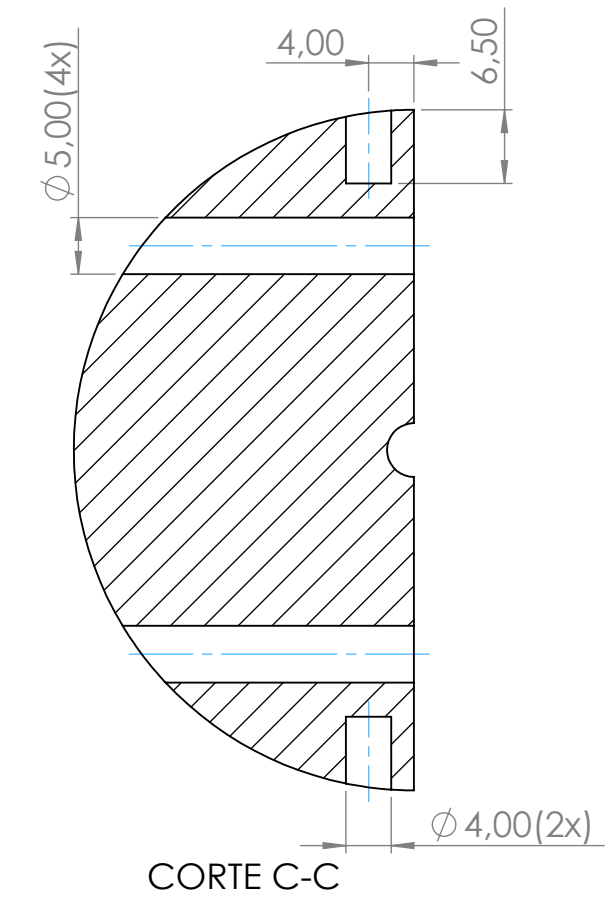
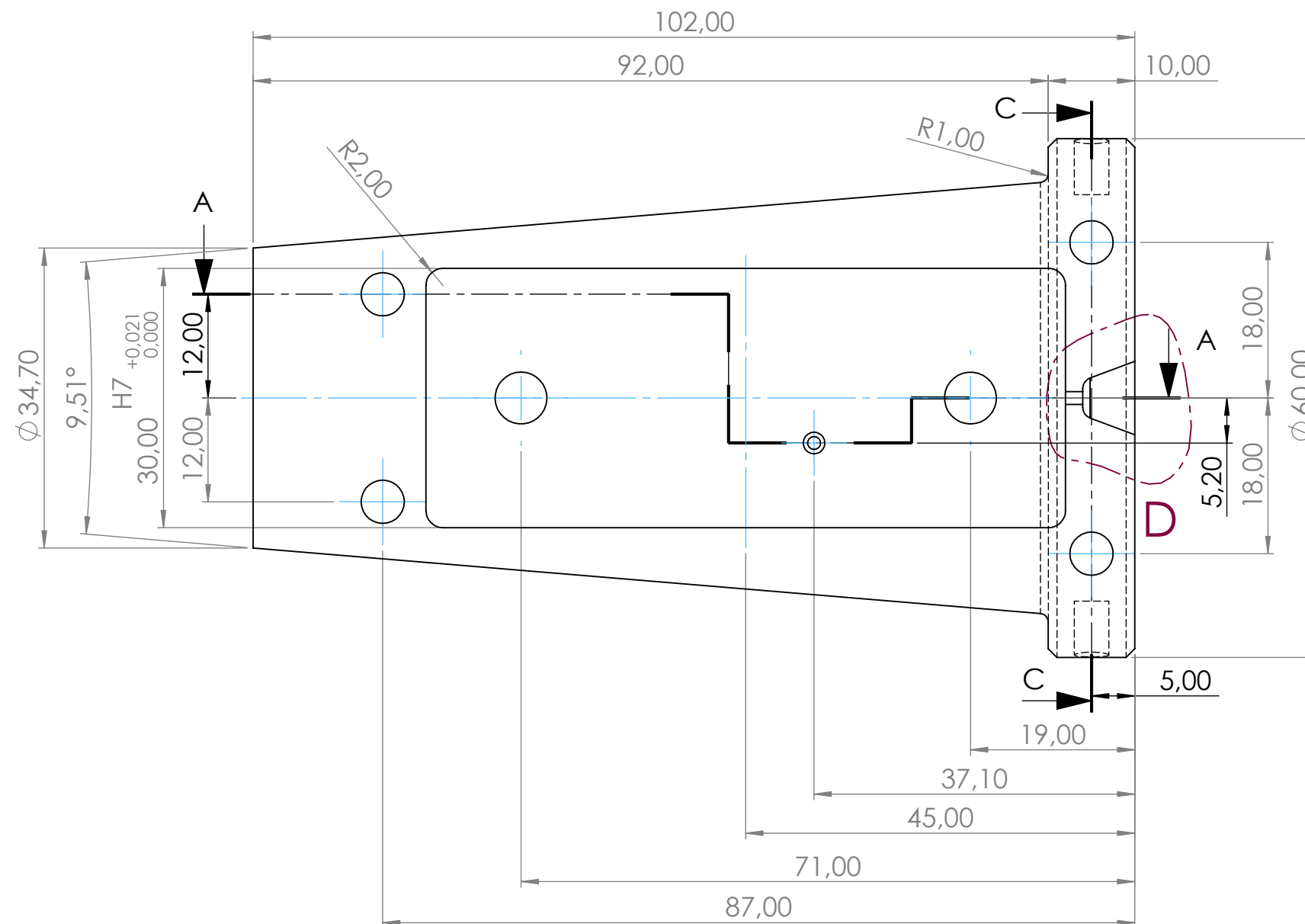
ZHU, L. D. et. al. **Submicrometer-Sized Rubber Particles as “Craze-Bridge” for Toughening Polystyrene/High-Impact Polystyrene.** Journal of Applied Polymer Science, 2013. Pág. 224-229.

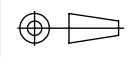
APÊNDICES

Apêndice I: detalhamento molde protótipo



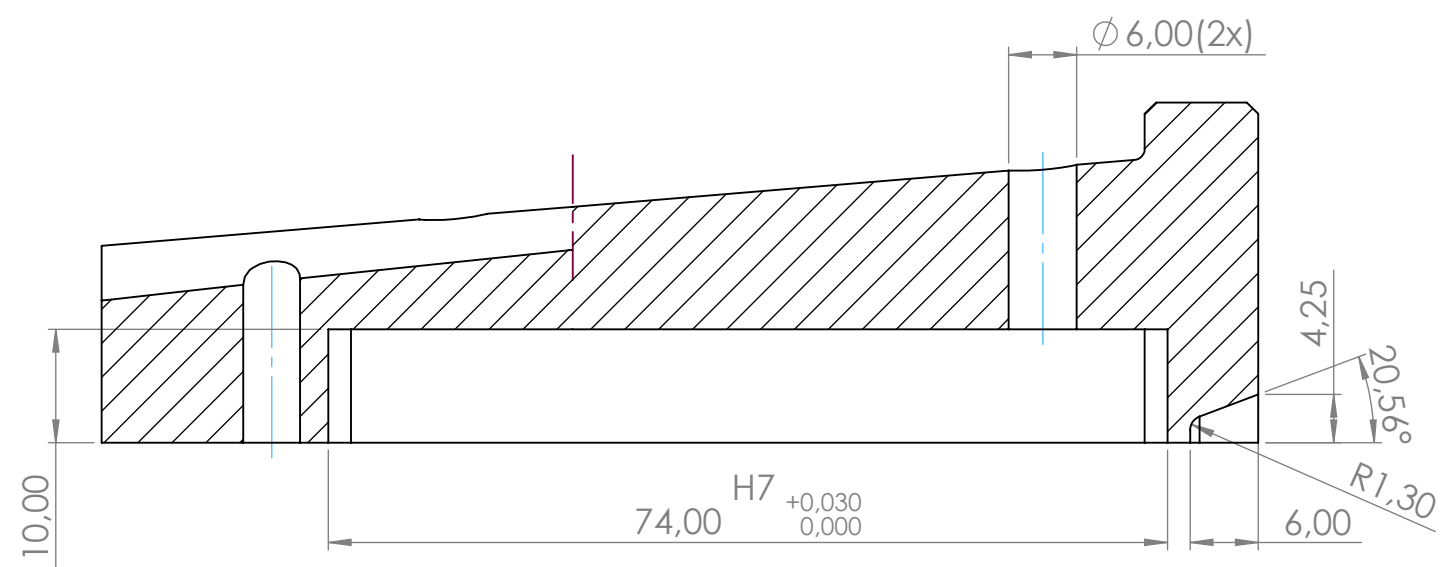
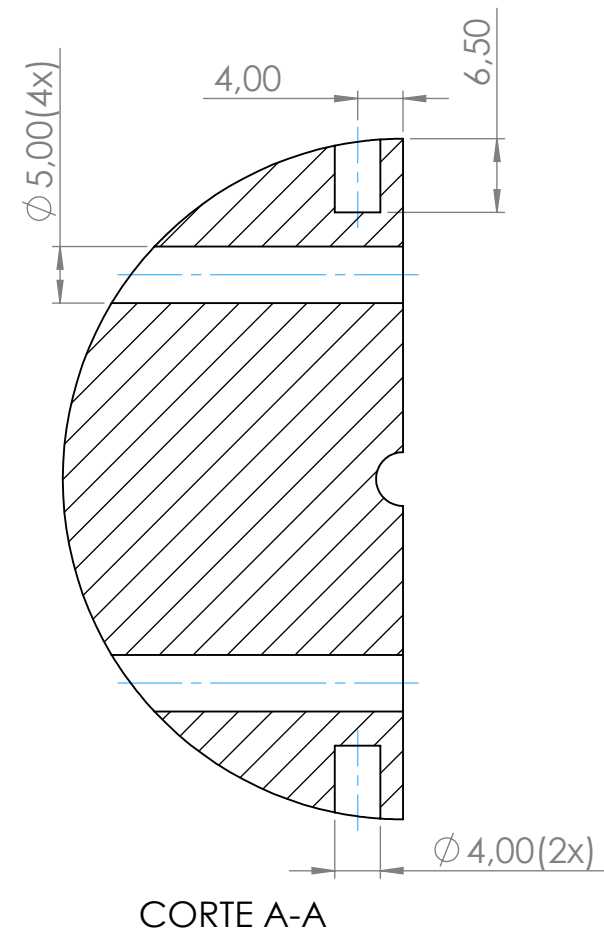
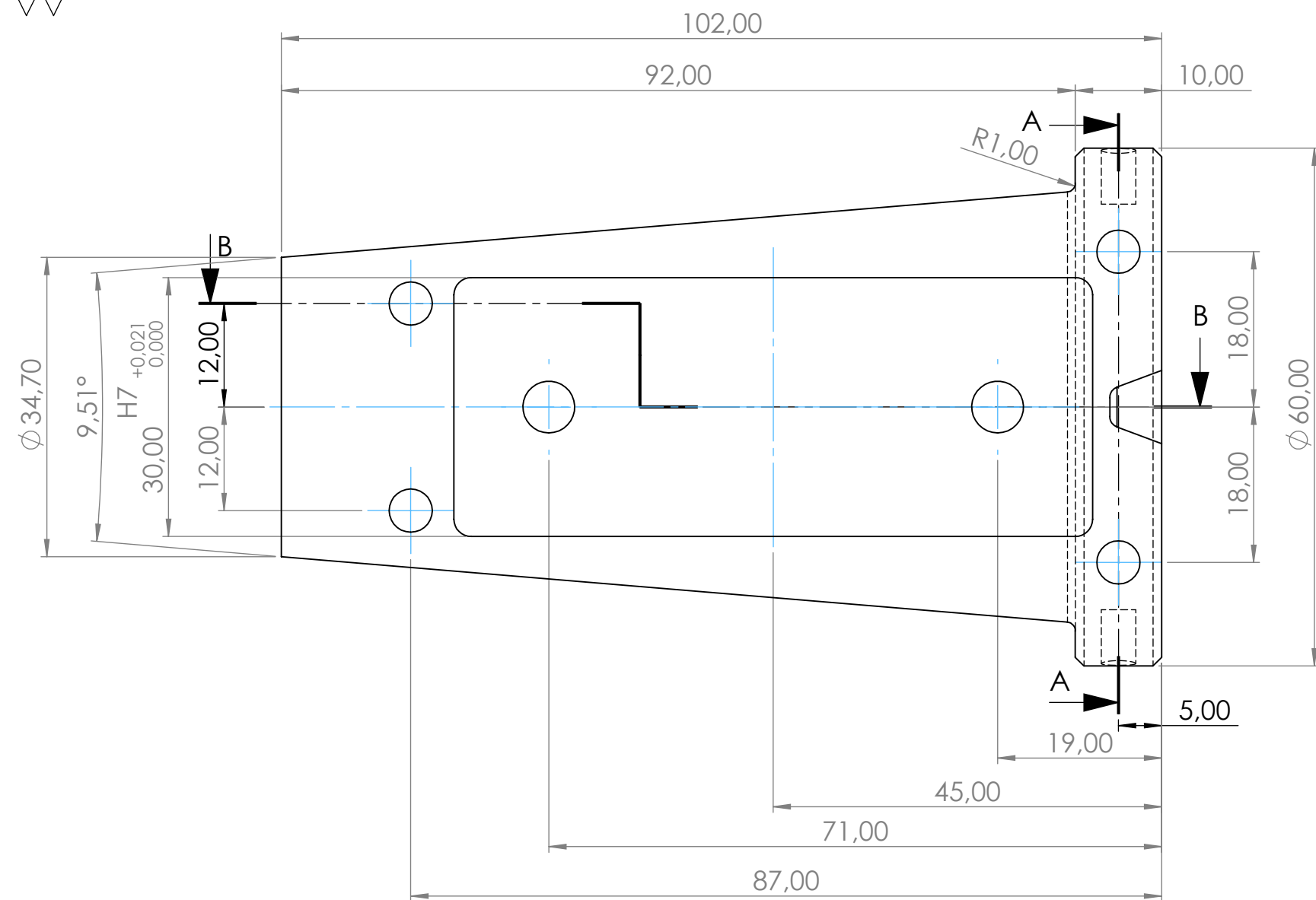
FOLHA	ITEM	DESCRIÇÃO		Lapol
—	—			
ESCALA: 2:1	DATA	09-Apr-13	MATERIAL	 Projetos de Ferramentas www.precisionprojetos.com.br
	PROJETISTA	NELITO	H 13	
PROJEÇÃO:	DESENHISTA	NELITO		
	TRATAMENTO Temperar e Revenir 48 – 50 HrC			
PROJETO:	Chaveiro			CLIENTE: —



FOLHA	ÍTEM	DESCRIÇÃO	
-	-	Fêmea_LaPol	
ESCALA: 1.5:1	DATA	08-Apr-13	MATERIAL H 13
	PROJETISTA	NELITO	
PROJEÇÃO: 	DESENHISTA	NELITO	TRATAMENTO Temperar e Revenir 48 - 50 Hrc
	PROJETO: Fêmea_LaPol		

Pragis

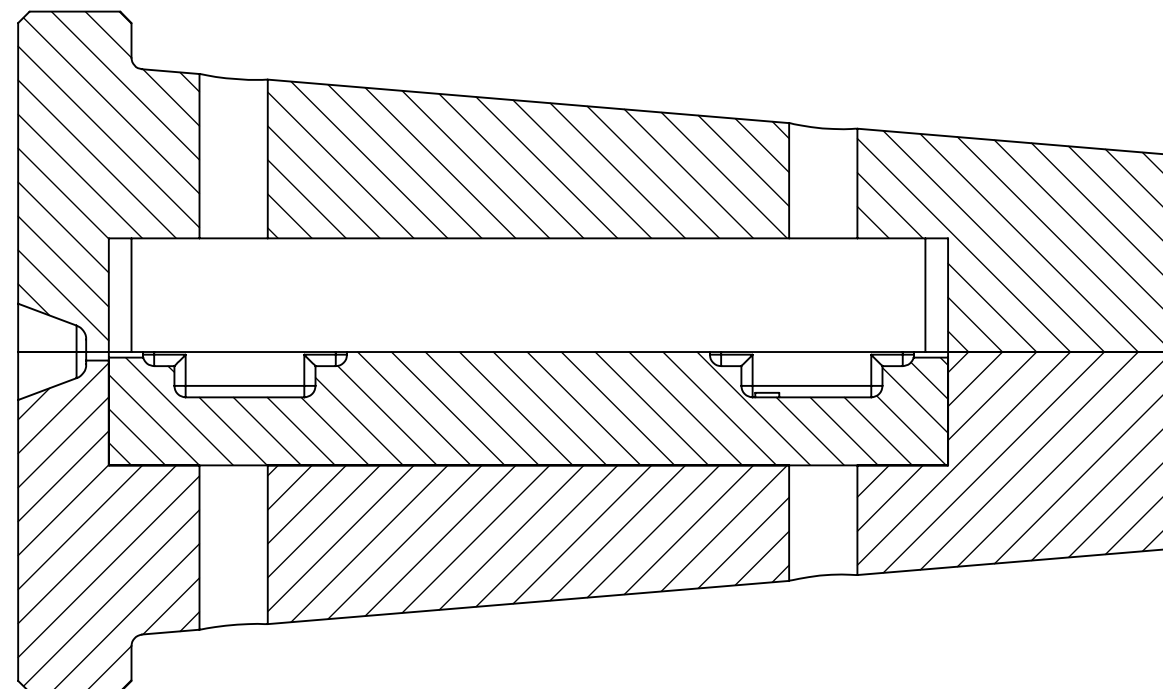
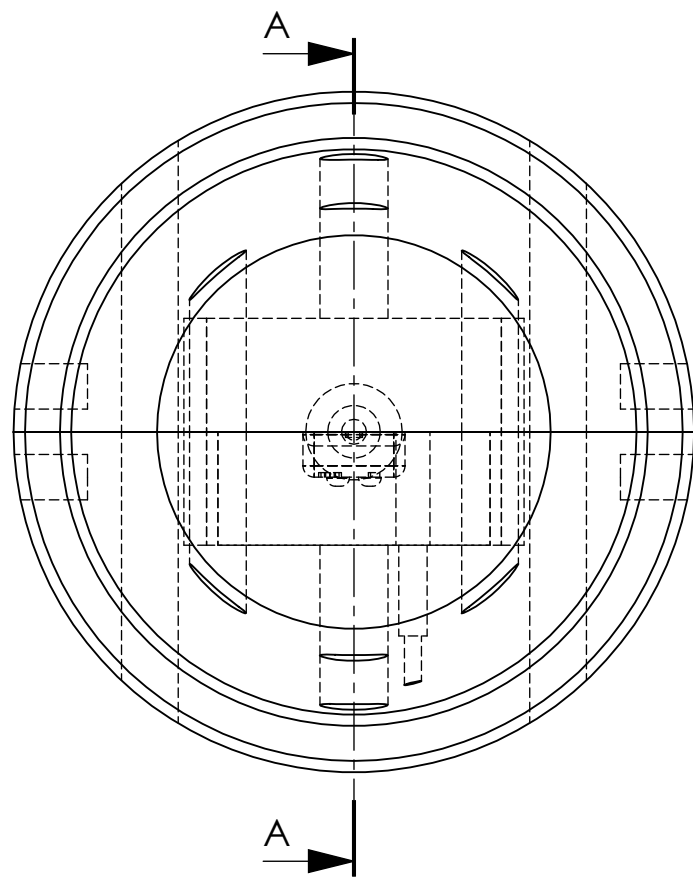
Projetos de Ferramentas




CORTE B-B

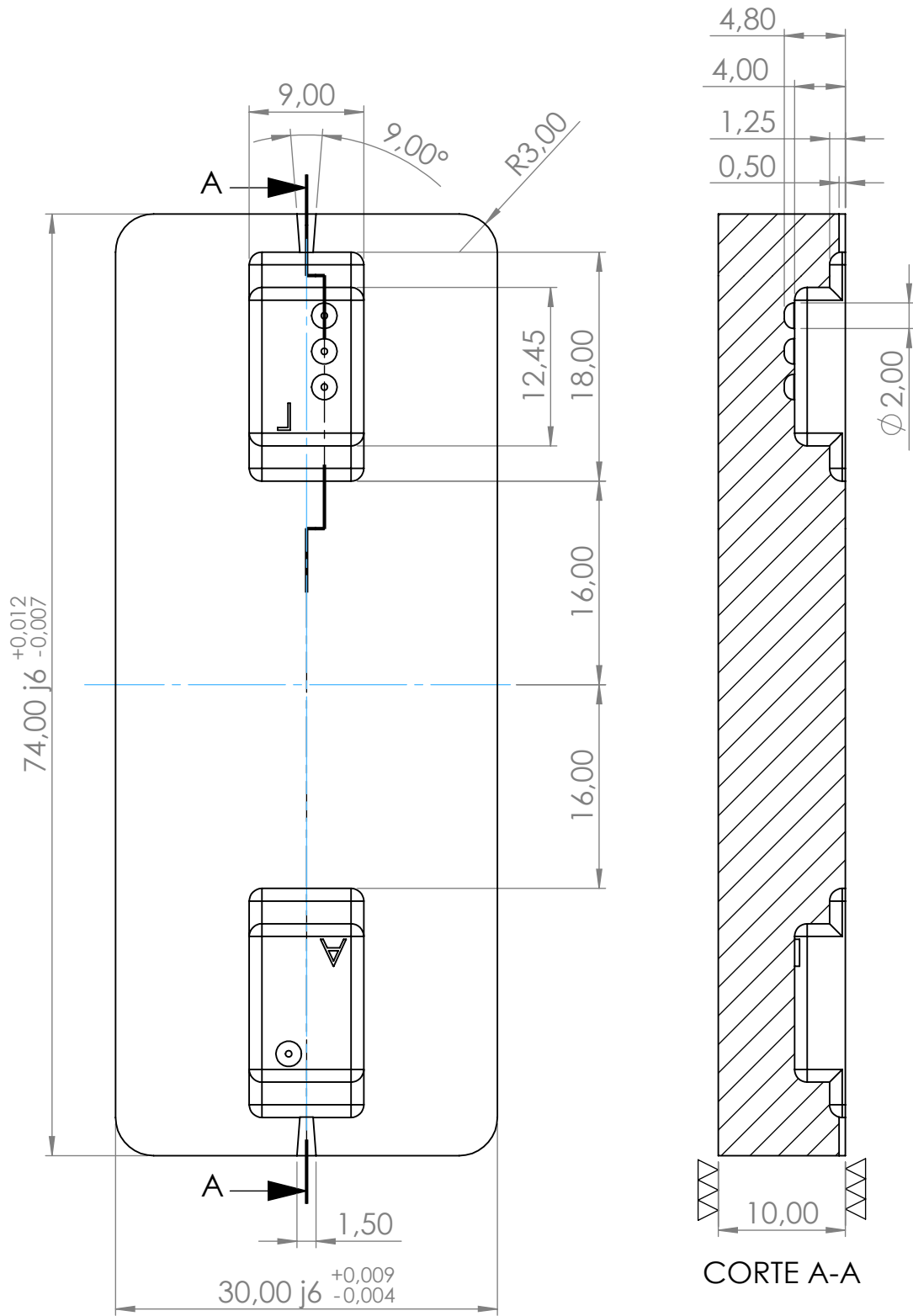
FOLHA	ÍTEM	DESCRIÇÃO	
-	-	Macho_LaPol	
ESCALA:	DATA	08-Apr-13	MATERIAL
1.5:1	PROJETISTA	NELITO	H 13
PROJEÇÃO:	DESENHISTA	NELITO	
	TRATAMENTO		
	Temperar e Revenir 48 - 50 Hrc		
PROJETO:	Macho_LaPol		CLIENTE:
			-

Precision
 Projetos de Ferramentas
 www.precisionprojetos.com.br


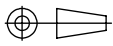


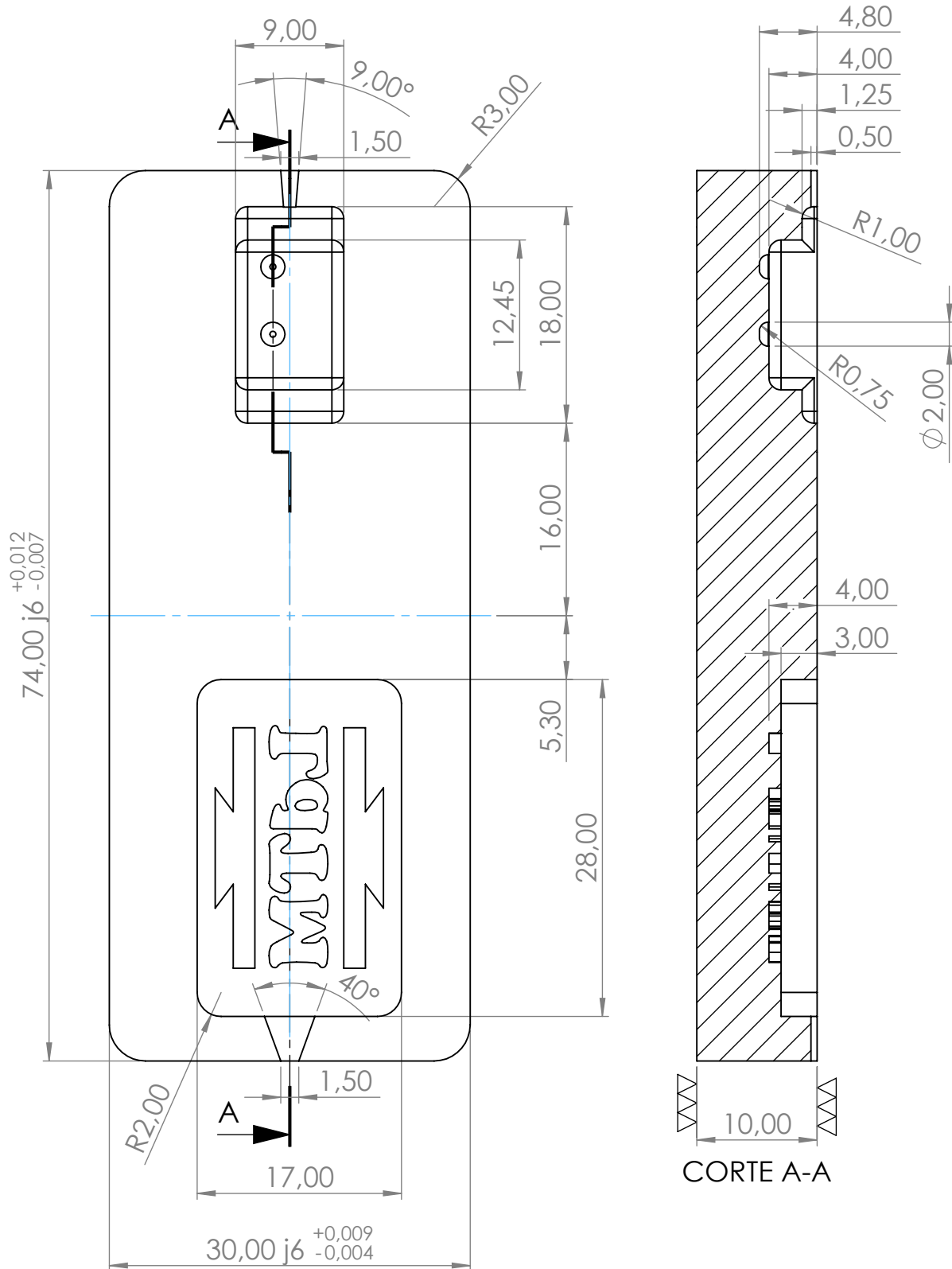
CORTE A-A

FOLHA	ÍTEM	DESCRIÇÃO		Montagem
—	—			
ESCALA: 1.5:1	DATA	08-Apr-13	MATERIAL	 Projetos de Ferramentas www.precisionprojetos.com.br
	PROJEÇÃO:	DESENHISTA	NELITO	
	TRATAMENTO	ISENTO		
PROJETO:	Matriz LaPol			CLIENTE: —

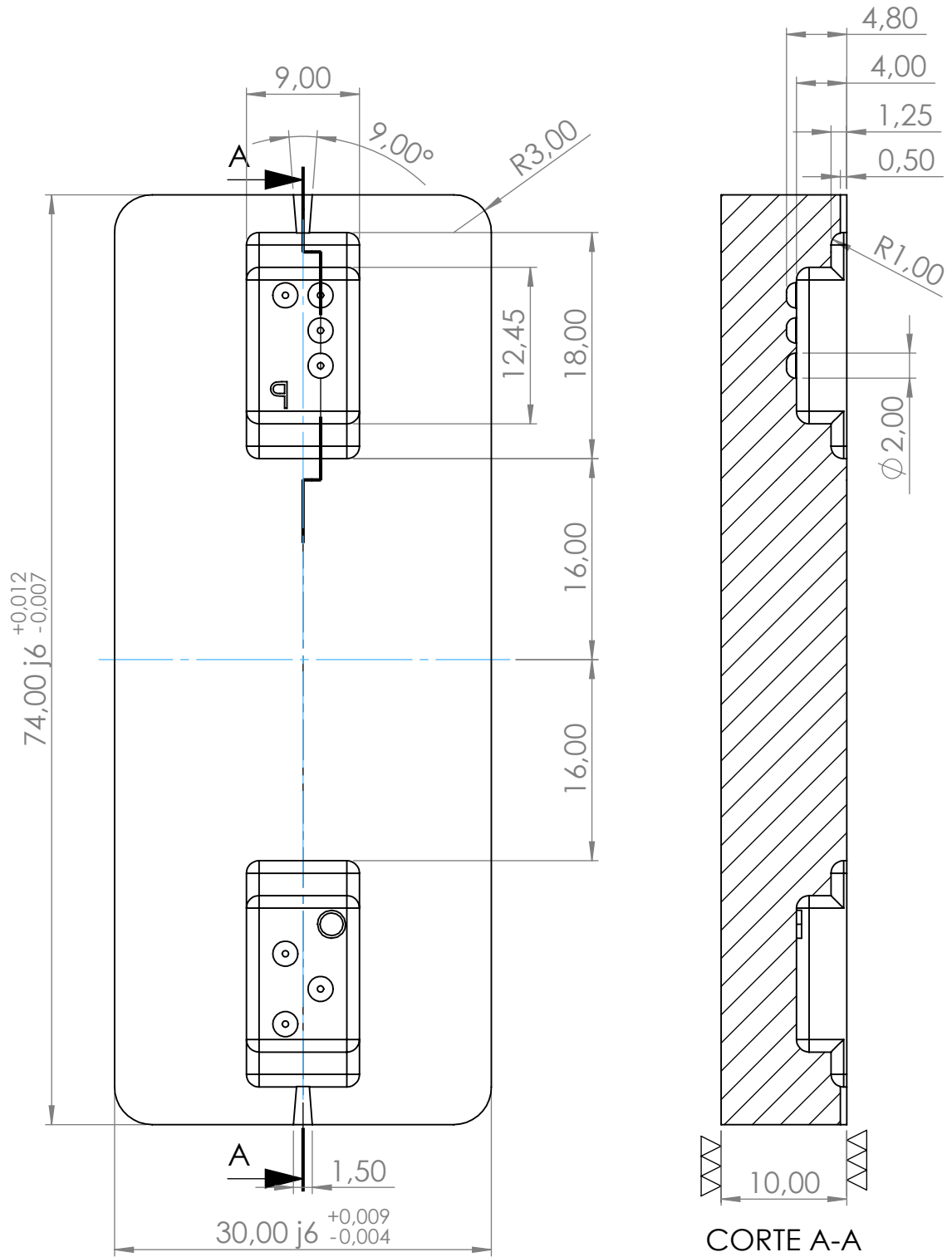



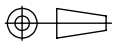
CORTE A-A

FOLHA	ITEM	DESCRÇÃO		posticos_tecla_A_L	
—	—				
ESCALA: 2:1	DATA	09-Apr-13	MATERIAL	 Projetos de Ferramentas www.precisionprojetos.com.br	
	PROJETISTA	NELITO			
PROJEÇÃO:	DESENHISTA	NELITO			
	TRATAMENTO	Temperar e Revenir 48 - 50 Hrc			
PROJETO:	posticos_tecla_A_L			CLIENTE:	—



FOLHA	ITEM	DESCRIÇÃO	
—	—	posticos_tecla_MAIUSCULA	
ESCALA: 2:1	DATA	09-Apr-13	MATERIAL H 13
	PROJETISTA	NELITO	
PROJEÇÃO: 	DESENHISTA	NELITO	 Projetos de Ferramentas www.precisionprojetos.com.br
	TRATAMENTO	Temperar e Revenir 48 - 50 Hrc	
PROJETO:	posticos_tecla_MAIUSCULA		CLIENTE: —



FOLHA	ITEM	DESCRICÃO		posticos_tecla_0_P	
—	—				
ESCALA: 2:1	DATA	09-Apr-13	MATERIAL	 Projetos de Ferramentas www.precisionprojetos.com.br	
	PROJETISTA	NELITO			
PROJEÇÃO: 	DESENHISTA	NELITO			
	TRATAMENTO			Temperar e Revenir 48 - 50 Hrc	
PROJETO:	posticos_tecla_0_P			CLIENTE:	—