UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE BLENDAS DE POLIESTIRENO RECICLADO E POLIPROPILENO.

JEFFERSON MORONA

FLORIANÓPOLIS, SETEMBRO DE 2006.

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

JEFFERSON MORONA

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE BLENDAS DE POLIESTIRENO RECICLADO E POLIPROPILENO.

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. DSc. Ricardo A. F. Machado

JEFFERSON MORONA

ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE BLENDAS DE POLIESTIRENO RECICLADO E POLIPROPILENO.

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de mestre em Ciência e Engenharia de Materiais especialidade em Ciência e Engenharia de Materiais, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

_____

Prof. DSc. Ricardo A. F. Machado
Orientador, PGMAT/UFSC

_____

Prof. Dra. Ana Maria Maliska
Coordenadora, PGMAT/UFSC

BANCA EXAMINADORA:

_____

Prof. DSc. Ariovaldo Bolzan
ENQ/UFSC

_____

Prof.Dra. Cintia Marangoni
ENQ/UFSC

_____

Prof. Dr. Guilherme Mariz de Oliveira Barra
ENQ/UFSC

Ficha Catalográfica

MORONA, Jefferson.

Estudo da viabilidade do uso de blendas de poliestireno reciclado e polipropileno, 2006, 116p, xiv.

Dissertação: Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais (Área: Materiais Poliméricos)

Orientador: Prof. Dr. Ricardo A. F. Machado

1.Poliestireno 2.Polipropileno 3.Reciclagem

I. Universidade Federal de Santa Catarina

II. Título

"A imortalidade de que se reveste a natureza humana faz o homem sempre presente.
Presente pela cultura que transmitiu;
Presente pela amizade que conquistou; presente pelo exemplo que legou.
Sempre presente porque o homem foi educador."
(Goethe)

Com carinho e admiração a todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial a minha esposa, minha filha e meus pais.

AGRADECIMENTOS

Ao Grande Criador que, na misericórdia infinita, tem me agraciado com muito mais do que mereço. Muito Obrigado Deus!

Meus pais Luiz e Dalci que souberam ensinar com exemplos, lições de trabalho e honestidade;

Minha esposa Patrícia, minha filha Luiza pela compreensão e paciência nos momentos difíceis, em que estive exausto, preocupado com a elaboração deste trabalho. O estímulo, carinho e participação de vocês foram determinantes para que pudesse concluir mais esta etapa;

A SATC/Senai que me oportunizou realizar o trabalho nesta instituição;

Ao Prof. Dr. Ricardo Antônio Francisco Machado, meu orientador, pelo aprendizado e orientação para o desenvolvimento deste trabalho;

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho, agradeço pelo apoio, estímulo e atenção.

SUMÁRIO

LISTA DE FÍGURAS **x**
LISTA DE TABELAS **xi**
NOMENCLATURA **xii**
RESUMO **13**
ABSTRACT **14**
1 INTRODUÇÃO **16**
1.1 Objetivos **19**
1.1.1 Objetivo geral **19**
1.1.2 Objetivos específicos **19**
1.1.3 Estrutura do trabalho **19**
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **21**
2.1 Reciclagem de resíduos sólidos **21**
2.2 Classificação dos resíduos plásticos **27**
2.3 Métodos de reciclagem de resíduos plásticos **27**
2.3.1 Reciclagem mecânica **27**
2.3.1.1 Classificação da reciclagem mecânica **29**
2.3.2 Métodos Avançados de Reciclagem **31**
2.3.3 Recuperação de energia **33**
2.5 Classificação: termoplásticos convencionais, termorrígidos, elastômeros e blendas. **34**
2.5.1 Termoplásticos convencionais **34**
2.5.2 Características dos polímeros utilizados no trabalho **35**
2.5.2.1 Polipropileno **35**
2.5.2.2 Poliestireno **39**
2.5.3 Termorrígidos **45**
2.5.4 Elastômeros **45**
2.5.5 Blendas **46**
3 MATERIAIS E MÉTODOS **49**
3.1 Fluxograma das atividades desenvolvidas **49**
3.1.1 Levantamento de dados **51**
3.1.2 Coleta de material **52**
3.1.3 Lavagem **53**
3.1.4 Secagem **53**
3.1.5 Moagem **54**
3.1.6 Desenvolvimento das formulações **55**
3.1.7 Injeção dos corpos de prova **59**
3.1.7.1 Determinação das condições de processamento **59**
3.1.8 Caracterização dos ensaios **61**
3.1.8.1 Ensaio de tração **62**
3.1.8.2 Alongamento na ruptura **63**
3.1.8.3 Resistência à flexão **64**
3.1.8.4 Resistência ao impacto **64**
3.1.8.5 Dureza Shore **65**
3.1.8.6 Densidade relativa **66**
4 RESULTADOS **69**

4.1 Resistência à tração e alongamento na ruptura 69
4.2 Resistência à flexão 79
4.3 Resistência ao impacto 88
4.4 Dureza Shore 90
4.5 Densidade relativa 92
4.6 Aplicação em produto 94
4.6.1 Conjunto de brinquedos de encaixe **94**
4.6.2 Pote para ração animal doméstico **96**
5 CONCLUSÃO 98
5.1 Sugestões para trabalhos futuros 101
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01. Simbologia dos plásticos 25
FIGURA 02. Reciclagem mecânica do tipo secundária 30
FIGURA 03. Consumo de estireno por produto em 2001 41
FIGURA 04. Consumo aparente de poliestireno nacional (1997-2001) 42
FIGURA 05. Fluxograma do procedimento executado durante o trabalho 50
FIGURA 06. Coletor seletivo para copos descartáveis 52
FIGURA 07. Copos descartáveis fragmentados 53
FIGURA 08. Moinho de facas Rone 54
FIGURA 09. Copos descartáveis moídos 55
FIGURA 10. Polipropileno virgem 57
FIGURA 11. Copos descartáveis moídos 57
FIGURA 12. Béquer 2000ml 58
FIGURA 13. Formulações 58
FIGURA 14. Injetora utilizada para a formação dos corpos-de-prova 59
FIGURA 15. Modelos de corpos-de-prova 61
FIGURA 16. Máquina de ensaio universal Emic 63
FIGURA 17. Equipamento de impacto Emic 65
FIGURA 18. Equipamento durômetro Woltest 66
FIGURA 19. Esquema montado para determinação da densidade relativa 67
FIGURA 20. Gráfico tensão x deformação para formulação F_1 (100% de PP) 70
FIGURA 21. Gráfico tensão x deformação para formulação F_2 (90% de PP e 10% de PS) 71
FIGURA 22. Gráfico tensão x deformação para formulação F_3 (80% de PP e 20% de PS) 72
FIGURA 23. Gráfico tensão x deformação para formulação F_4 (70% de PP e 30% de PS) 74
FIGURA 24. Gráfico tensão x deformação para formulação F_5 (50% de PP e 50% de PS) 75
FIGURA 25. Gráfico tensão x deformação para formulação F_6 (30% de PP e 70% de PS) 77
FIGURA 26. Gráfico tensão média na ruptura em função do teor de HIPS 78
FIGURA 27. Gráfico alongamento médio na ruptura para as formulações 79
FIGURA 28. Determinação da flexão para formulação F_1 (100% de PP) 80
FIGURA 29. Determinação da flexão para formulação F_2 (90% de PP e 10% de HIPS) 81
FIGURA 30. Determinação da flexão para formulação F_3 (80% de PP e 20% de HIPS) 83
FIGURA 31. Determinação da flexão para formulação F_4 (70% de PP e 30% de HIPS) 84
FIGURA 32. Determinação da flexão para formulação F_5 (50% de PP e 50% de HIPS) 85
FIGURA 33. Determinação da flexão para formulação F_6 (30% de PP e 70% de HIPS 87
FIGURA 34. Resistência ao impacto em função do teor de HIPS 89
FIGURA 35. Dureza em função do teor de HIPS 91
FIGURA 36. Densidade Relativa 93
FIGURA 37. Brinquedos de encaixe 94
FIGURA 38. Kit brinquedo 94
FIGURA 39. Brinquedo com F_5 95
FIGURA 40. Brinquedo com F_6 95
FIGURA 41. Pote de ração com F_2 96
FIGURA 42. Pote de ração com F_3 96
FIGURA 43. Pote de ração com F_4 96
FIGURA 44. Pote de ração com F_5 96
FIGURA 45. Pote de ração com F_6 96

LISTA DE TABELAS

TABELA 01. Demonstrativos de fabricantes e participação de mercado 17
TABELA 02. Reciclagem de Plásticos em 2005 28
TABELA 03. Capacidade instalada de Polipropileno (t/ano) 37
TABELA 04. Produção e vendas declaradas de Polipropileno (t/ano) 37
TABELA 05. Destino aproximado das vendas internas de Polipropileno 38
TABELA 06. Características do polipropileno 38
TABELA 07. Capacidade instalada de Poliestireno (t/ano) 42
TABELA 08. Produção e vendas declaradas de Poliestireno (t/ano) 43
TABELA 09. Destino aproximado das vendas internas de Poliestireno 43
TABELA 10. Características do poliestireno 44
TABELA 11. Consumo mensal estimado de copos descartáveis na escola 51
TABELA 12. Formulação das amostras de PP incorporados com HIPS pós-consumo 56
TABELA 13. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_1 69
TABELA 14. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_2 70
TABELA 15. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_3 72
TABELA 16. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_4 73
TABELA 17. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_5 75
TABELA 18. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_6 76
TABELA 19. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_1 80
TABELA 20. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_2 81
TABELA 21. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_3 82
TABELA 22. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_4 83
TABELA 23. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_5 85
TABELA 24. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_6 86
TABELA 25. Resistência ao Impacto das formulações pelo método Charpy 88
TABELA 26. Dureza Shore da blenda HIPS pós-consumo e PP 90
TABELA 27. Densidade relativa das formulações 92

NOMENCLATURA

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABS	- Acrilonitrila butadieno estireno
ASTM	- American Society for Testing and Materials
CET	- Centro de Educação e Tecnologia
DSC	- Calorimetria de varredura diferencial (Differential Scanning Calorimetry)
EVA	- Etileno acetato de vinila
HDPE	- Polietileno de Alta Densidade (High Density Polyethylene)
HIPS	- Poliestireno de alto impacto (High Impact Polystyrene)
LDPE	- Polietileno Linear de Baixa Densidade (Low Density Polyethylene)
PE	- Polietileno
PET	- Poli (tereftalato de etileno)
PP	- Polipropileno
PC	- Policarbonato
PMMA	- Poli (metacrilato de metila)
PS	- Poliestireno
PVC	- Poli (cloreto de vinila) (Polyvinyl Chloride)
SATC	- Associação Beneficente da Indústria Carbonífera Catarinense
SBS	- Co-bloco Estireno Butadieno Estireno
SBR	- Estireno Butadieno
SEBS	- Co-bloco Estireno Etileno Butadieno Estireno
SENAI	- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
T_g	- Temperatura de transição vítrea
T_m	- Temperatura de fusão cristalina

RESUMO

O desenvolvimento e o crescimento tecnológico, sem dúvida, trouxeram grandes benefícios à sociedade. Mas, aliado a este crescimento encontra-se um comportamento de consumo desenfreado, que provoca vários efeitos adversos. Entre eles, destaca-se a poluição do meio ambiente. A interferência no meio ambiente gera resíduo e dentre estes se destaca o sólido, uma vez que seu grau de dispersão é bem menor que os gasosos e líquidos. Os resíduos sólidos plásticos demoram centenas de anos para se decompor.

O consumo mundial projetado para 2004 somente de termoplásticos é da ordem de 183 milhões de toneladas. Para o Brasil o dado da transformação de poliestireno, material plástico inserido neste trabalho e usado na produção de descartáveis, é bastante significativo, apresentando consumo aparente de aproximadamente 320 000 ton/ano.

Baseado nestes argumentos, este trabalho tem como objetivo principal verificar as propriedades mecânicas da blenda de poliestireno reciclado e polipropileno, utilizando como matérias-primas copos plásticos descartáveis pós-consumo e polipropileno virgem.

O poliestireno de alto impacto pós-consumo utilizados no trabalho são copos descartáveis coletados nas cantinas e bebedouros da escola SATC/SENAI, através de um coletor seletivo. Para a caracterização foram misturados manualmente diferentes teores de poliestireno em polipropileno virgem e corpos de prova, normalizados, foram preparados por injeção sendo analisados quanto ao comportamento de suas propriedades mecânicas. As propriedades mecânicas analisadas foram: a resistência à tração, flexão, dureza, resistência ao impacto e densidade relativa, seguindo os métodos das normas ASTM.

Embora a blenda de HIPS e PP seja uma mistura considerada imiscível, os resultados obtidos foram satisfatórios para algumas propriedades mecânicas e ótimas para outras, como é o caso da tensão na ruptura, que é semelhante às tensões do PP virgem. Já para o alongamento e resistência ao impacto o que se observou foi uma queda significativa em função do acréscimo de HIPS na blenda.

O que se pode concluir é que as formulações são perfeitamente possíveis para determinados produtos, onde o esforço mecânico não é tão exigido.

Palavras-chaves: Poliestireno, Polipropileno, Reciclagem.

ABSTRACT

The development and the growth, without a doubt, had brought great benefits to the society. But, ally to this growth come across a behavior of wild consumption that provokes some adverse effect. Among them, it is distinguished pollution of the environment. The interference in the environment generates residue and amongst these if it detaches the solid residue, a time that its degree of dispersion is well lesser that gaseous and the liquid ones. In the solid residues we have plastics that they delay hundreds of years to putrefy itself..

The world consumption projected for 2004 of thermoplastic is of the order of 183 million tons. For Brazil the data of the polystyrene transformation, inserted plastic material in this used work and in the production of discarded, are sufficiently significant, presenting apparent consumption of approximately 320 000 tons/years.

Based in these arguments, this work has as objective main to verify the mechanical properties of the blend of recycled polystyrene and polypropylene, being used as raw materials discarded plastic cups after-I consume and virgin polypropylene. The polystyrene of high impact after-I consume used in the work are discarded cups collected in the canteens and "water throughs" of SATC/SENAI, through a selective collector. For the characterization different polystyrene texts had been mixed manually in virgin polypropylene and test bodies, normalized, had been prepared by injection being analyzed how much to the behavior of its mechanical properties. The analyzed mechanical properties had been: the tensile strenght, flexible, hardness, and resistance to the impact and relative density, following the methods of norms ASTM. Although the blend of HIPS and PP is a imiscíble mixture, the gotten results had been satisfactory for some mechanical and excellent properties for others, as it is the case of the tension in the rupture, that is similar to the tensions of the virgin PP. Already for the elongation and resistance to the impact what it was observed it was a

significant fall in function of the addition of HIPS in the blend. What can be concluded is that the formularizations perfectly possible for are determined products, where the mechanical effort so is not demanded.

keywords: Polystyrene, Polypropylene, Recycling.

1. INTRODUÇÃO

O consumo mundial de termoplásticos em 2004 foi de 183 milhões de toneladas e deste montante, 7% aproximadamente 13 milhões de toneladas, corresponde a produção de poliestireno (FERRAROLI, 2003).

Os dados da transformação de descartáveis a partir de poliestireno de alto impacto para o Brasil são relevantes. Em 2004, o consumo foi de aproximadamente 320.000 t/ano, para uma capacidade instalada de 620.000 t/ano (ABIPLAST, 2006). Como conseqüência, uma grande quantidade de resíduo sólido é gerado e depositado em aterros sanitários e lixões.

A partir de 2005, este valor teve um incremento maior que o crescimento natural. Através da normalização, os pesos mínimos dos copos foram ser aumentados em torno de 25%, refletindo em um aumento de 25% no consumo de PS.

Pelas informações do Ministério do Trabalho e Emprego (1998), Santa Catarina era, em 1997, o segundo estado da federação que mais empregava no segmento de produtos plásticos, perdendo apenas para o São Paulo, que contava com 96.272 empregados. Em 1998, foi ultrapassada pelo Rio Grande do Sul, caindo para terceira posição. São Paulo continuava na liderança, porém com 88.215 empregados no segmento, isto é, 8.057 vagas foram eliminadas em apenas um ano.

De 1997 a 1998, em todas as regiões, à exceção do Centro-Oeste, houve queda na quantidade de empregados no segmento de produtos de matérias plásticas. Santa Catarina e Paraná possuem praticamente a mesma quantidade de empresas: 245 e 239, respectivamente segundo GASTALDON (2000).

Contudo, em relação ao número de funcionários, Santa Catarina tem larga vantagem, participando com 8,9% do total de empregados desse segmento no Brasil.

A Região Sul do País concentra os maiores fabricantes de descartáveis plásticos, mais precisamente no sul do estado de Santa Catarina.

A região de Criciúma é responsável por aproximadamente 80% de toda a produção nacional de descartáveis, conforme mostra a Tabela 01.

TABELA 01. Demonstrativos de fabricantes e participação de mercado

FABRICANTES E PARTICIPAÇÃO DE MERCADO (2001)		
Fabricantes	**Participação (%)**	**Volume de Resina (ton/ano)**
Copobras	26,60	22.000
Descartáveis Zanatta	23,30	20.000
Copaza	20,00	16.000
Minaplast	8,30	9.500
Coposul	8,30	9.500
Outros	13,50	13.000
Total	100,00	90.000

Fonte: Relatório do Deptº Custos da Descartável Zanatta

Analisando estes dados verificou-se a possibilidade de aproveitamento desse material fazendo uma blenda de Poliestireno de Alto Impacto - HIPS pós-consumo e Polipropileno - PP virgem, para a produção de novos produtos. Desta forma retardando a contaminação do meio ambiente, pois a reutilização de materiais descartáveis atualmente é pouco praticada.

Segundo Demajorovic (1995) os resíduos sólidos possuem valor econômico agregado, podendo ser reaproveitados. O mesmo autor afirma que:

> *"... em contraposição aos antigos sistemas de tratamento desses resíduos, que tinham como prioridade à disposição destes, os atuais devem ter como prioridade um 'ecological cycle management', o que significa a montagem de um sistema circular, onde a quantidade de resíduos a serem reaproveitados dentro do sistema produtivo seja cada vez maior e a quantidade disposta menor"(Demajorovic,1995).*

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Baseado nos argumentos mencionados anteriormente, este trabalho tem como objetivo principal verificar a viabilidade do uso da blenda de poliestireno reciclado e polipropileno, utilizando como matérias-primas copos plásticos descartáveis pós-consumo e polipropileno virgem. Desta forma, foi necessário desenvolver uma metodologia de estudo visando buscar parâmetros adequados com o método de produção empregado.

1.1.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, considerando a complexidade de fatores, faz-se necessário um desenvolvimento teórico e experimental que fundamente e oriente as diversas etapas do experimento. Para tanto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1) Coletar e preparar a fase poliestirênica;
2) Preparar formulações da blenda polipropileno e poliestireno pós-consumo;
3) Caracterizar as propriedades mecânicas das blendas formuladas;
4) Analisar e avaliar as propriedades caracterizadas;
5) Desenvolver novos produtos.

1.1.3. Estrutura do Trabalho

Esta dissertação esta dividida em cinco capítulos organizados da seguinte forma:

No capítulo 1, apresentou-se uma breve contextualização do tema, o objetivo e a organização da dissertação.

No capítulo 2, faz-se uma abordagem sobre os temas de interesse envolvidos neste trabalho, abrangendo dados sobre as matérias-primas envolvidas no trabalho, o polipropileno e poliestireno de

alto impacto. Traz-se informações sobre os tipos de reciclagem, o processo de transformação de plásticos por injeção.

No capítulo 3, descreve-se a metodologia seguida para a realização deste estudo, abordando todas as etapas do processamento, desde a coleta, preparação das amostras, lavagem, secagem, moagem, preparação das formulações, injeção dos corpos-de-prova, as técnicas de caracterização, materiais e métodos utilizados no presente trabalho.

No capítulo 4, são apresentados e discutidos os resultados obtidos nos diversos ensaios quanto à caracterização das propriedades mecânicas das blendas.

Finalizando, no capítulo 5, apresentam-se as conclusões a respeito de todo o trabalho. Neste capítulo, são também sugeridos alguns temas para estudos posteriores que podem complementar este trabalho.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Reciclagem de resíduos sólidos

O desenvolvimento tecnológico e o crescimento econômico, sem dúvida, trouxeram grandes benefícios à sociedade. Mas, aliados ao crescimento populacional e a um comportamento de consumo desenfreado, provocaram vários efeitos adversos. Entre eles, destaca-se a poluição do meio ambiente e da qualidade de vida do ser humano.

O ser humano interfere no meio ambiente, pois gera resíduos (líquidos, sólidos e gasosos) através de suas ações, tanto no processo industrial, bem como no consumo desses produtos gerados.

> *"A qualidade do meio ambiente é deteriorada, e as condições de sobrevivência e o desenvolvimento integral do homem ficam comprometidos (...) Isso se faz concluir que, enquanto não existir uma contrapartida proporcional da reciclagem dos resíduos produzidos pelas atividades do homem face ao progresso econômico nos moldes atuais, a poluição crescerá a taxas mais aceleradas, e a qualidade do meio ambiente ficará totalmente comprometida"* (Ely, 1990).

A reciclagem surge, então, como alternativa de destinação dos resíduos sólidos. Essa alternativa permite o reaproveitamento dos resíduos como matéria-prima, reincorporando-os ao processo produtivo, reduzindo o seu impacto ambiental.

A geração de resíduo sólido urbano (RSU) difere de região para região, resultado de uma combinação de fatores sócio-econômicos locais, como densidade de população, preocupações ambientais da sociedade, presença de setores comerciais e industriais, disposição tecnologia, mercado capaz de absorver produtos fabricados de material reciclado, entre outros. As diferenças

regionais influem da mesma forma nos processos escolhidos para gerenciamento de resíduos (Baumann,1999, M. Audet, C.,1993).

A evolução tecnológica aliada à conscientização tem direcionado a comunidade científica para o desenvolvimento de métodos e processos, como a otimização da quantidade de matéria-prima utilizada no produto, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos, para melhor aproveitar os recursos naturais e poluir cada vez menos.

Os termos reutilização, recuperação e reciclagem possuem diferenças substanciais quanto aos seus sentidos. Reutilizar um resíduo significa reaproveitá-lo direto sob a forma de um produto. Recuperar é procurar extrair dos resíduos algumas substâncias para um determinado uso como, por exemplo, os óxidos de metais ou a recuperação de energia. A palavra reciclar significa promover o reaproveitamento cíclico de matérias-primas. (SCHLISCHTING, 2003).

Na definição adotada pela EPA (Environmental Protection Agency), a agência ambiental dos Estados Unidos, reciclagem é a ação de coletar, reprocessar, comercializar e utilizar materiais antes considerados como lixo (VALLE, 1995).

Wells *et a.l.* (*apud* Costa, 1998) definem a reciclagem como o "resultado de uma série de atividades através da qual materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, sendo coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, feitos anteriormente apenas com matéria-prima virgem".

A reciclagem é um processo industrial que converte o lixo descartado (matéria-prima secundária) em produto semelhante ao inicial ou outro. Reciclar é economizar energia, poupar recursos naturais e trazer de volta ao ciclo produtivo o que é jogado fora. A palavra reciclagem foi introduzida ao vocabulário internacional no final da década de 80, quando foi constatado que as fontes de petróleo e outras matérias-primas não renováveis estavam e estão se esgotando.

Para compreender-se a reciclagem, é importante "reciclar" o conceito que tem-se de lixo, deixando de enxergá-lo como uma coisa suja e inútil em sua totalidade. O primeiro passo é perceber que o lixo é fonte de riqueza e que para ser reciclado deve ser separado. Ele pode ser separado de diversas maneiras, sendo a mais simples separar o lixo orgânico (lixo molhado) do inorgânico (lixo seco).

No Brasil, a reciclagem, vem gradualmente crescendo, juntamente a consciência ecológica e apelo econômico, diversas são as oportunidades de negócio que giram em torno desta. Os materiais que têm recebido mais atenção à reciclagem são:

a) Metais
b) Papel
c) Vidro
d) Plástico

A reciclagem pode ser dividida nas seguintes etapas:

- Transformação: que é a revalorização do material em outro capaz de ser vendido novamente;
- Revalorização: que nada mais é que a adequação do material para posterior utilização (seleção/descontaminação) como matéria prima na indústria de transformação e;
- Seleção: essa consiste no mais difícil passo de todo o processo. No Brasil, mais de 570 mil toneladas são geradas ao ano e a contaminação do lixo plástico pelo lixo orgânico é um dos principais problemas enfrentados pela indústria da reciclagem.

A partir do final do século passado, tem-se verificado um considerável aumento na utilização de embalagens plásticas em todo mundo, principalmente de alimentos, o que tem gerado grandes preocupações por parte da sociedade, à medida que a não-reutilização do produto após o consumo pode causar sérios danos ao meio ambiente.

Como solução à estas preocupações a sociedade tem ao longo do tempo buscado meios e formas de amenizar os danos que o descarte destes materiais tem causado ao meio ambiente.

Em nosso país, a reciclagem de plástico tem crescido muito nos últimos anos principalmente em virtude do reaproveitamento do PET, que usualmente é utilizado no segmento de monofilamentos, indústria têxtil, entre outros.

Muitos são os fatores que dificultam a reciclagem de plástico. Dentre estes enumera-se, a presença de contaminantes como: aço, alumínio, vidro, papel/cartão, tintas e vernizes, que são utilizados nos processos de laminação e conversão de materiais plásticos, bem como os resíduos de alimentos remanescentes na embalagem pós-consumo. Outro entrave para o despontamento deste material ainda é físico, pois, ao contrário do alumínio que pode ser amassado, este não. Assim o principal agravante é que apesar da baixa porcentagem mássica, os polímeros ocupam até 20% do volume dos rejeitos municipais, tornando necessária a aquisição cada vez maior de áreas para a disposição final. Isto contribui com a poluição visual e o aumento dos custos, tanto para esta disposição final quanto para o transporte e armazenamento. (SCHLISCHTING,2003). Além destes, a incompatibilidade de natureza química de determinadas resinas que compõem os diferentes materiais plásticos representa um sério problema na reciclagem.

Por isso, quanto mais uniforme for a composição da embalagem plástica, maior será o seu valor de reciclagem, conseqüência da redução das etapas e dos recursos tecnológicos despendidos no processo.

Como um dos principais problemas da reciclagem pós-consumo é a identificação dos materiais. Foi estabelecido no Brasil um sistema de codificação de produtos plásticos, que consiste em um símbolo com três setas e um número, como é mostrado na Figura 01, identificando o tipo de plástico com o qual o produto foi fabricado. Este sistema de identificação foi criado pela ABNT

(Associação Brasileira de Normas Técnicas) e recebe o número de NBR 13.230 – Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos.

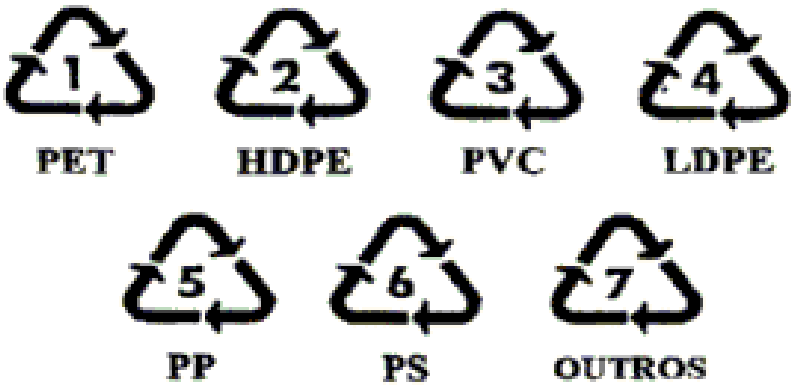

FIGURA 01. Simbologia dos plásticos (www.moderna.com.br/artigos/química)

Segundo Pinto (1995), além destes problemas, os mais comuns para a reciclagem dos resíduos plásticos pós-consumo estão relacionados à implantação de um sistema de coleta seletiva e a processos para a adequada separação de materiais plásticos do lixo. Estes problemas são:

- a escassez de empresas interessadas em comprar o material separado;
- as grandes distâncias que, às vezes, separam o município do mercado comprador;
- a dificuldade de separar corretamente os diferentes tipos de plásticos;
- a difícil tarefa em garantir um fornecimento contínuo de matéria-prima de boa qualidade aos compradores.

Apesar de todos estes problemas a reciclagem é vista como principal solução para a destinação inadequada do lixo produzido em todo mundo.

A reciclagem deve ser encarada não só como solução de fundo ecológico, mas, principalmente, como uma oportunidade de negócio, pois este mercado envolve cifras significativas. Convém salientar que o lixo industrial (geralmente é matéria-prima mal utilizada) possui maior valor agregado que o lixo domiciliar, em face de sua maior uniformidade. São inúmeros os benefícios trazidos pela reciclagem. Dentre estes se frisa:

1- Contribuição para diminuição da poluição do solo, água e ar;

2- Melhora da limpeza da cidade e a qualidade de vida da população;

3- Prolonga a vida útil de aterros sanitários;

4- Melhora a produção de compostos orgânicos;

5- Geração de empregos para a população;

6- Geração de receita com a comercialização dos recicláveis;

7- Estimula a concorrência, uma vez que produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados conforme àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens;

8- Contribuição para a valorização da limpeza pública;

9- Formar uma consciência ecológica.

Wiebeck (1997) enumera outros fatores que motivam a reciclagem:

1-Necessidade de poupar e preservar recursos naturais;

2-Redução do volume de resíduos a transportar, tratar e dispor;

3-Diminuição da carga poluente enviada ao meio ambiente;

4-Aumento da vida útil dos locais de disposição de resíduos (aterro sanitário e aterro industrial);

5-Redução do custo de gerenciamento dos resíduos, com menores investimentos em instalações de tratamento e disposição final;

6-Redução da poluição/contaminação ambiental e dos problemas de saúde pública e social decorrentes;

7-Criação de empregos ou aproveitamento de mão-de-obra (catadores, por exemplo) em melhores condições de trabalho;

8-Maior competitividade e produtividade, em caso de empresas;

9-Possibilidade de participação da população no processo de separação, levando ao conhecimento dos problemas (educação ambiental e conscientização em relação a sua responsabilidade).

2.2 Classificação dos resíduos plásticos

Os resíduos plásticos podem ser classificados em:

1-pré-consumo ou pós-industrial: resíduos que provêm principalmente de sobras e aparas do processo de produção industrial;

2-pós-consumo: resíduos provenientes do descarte de produtos pelos consumidores (PLASTIVIDA/ABIQUIM,1997).

Neste trabalho o resíduo sólido utilizado para o estudo é do tipo resíduo plástico pós-consumo.

A reciclagem dos resíduos pós-consumo é a alternativa que contribui de maneira mais significativa para a solução do acúmulo do resíduo sólido urbano (A RECICLAGEM...,1998).

2.3 Métodos de Reciclagem de resíduos plásticos

Os métodos de reciclagem de resíduos plásticos podem ser divididos em: Mecânica e Métodos Avançados. A reciclagem mecânica pode ser ainda primária ou secundária enquanto que os métodos avançados se baseiam em degradação térmica, termo-oxidativa, hidrogenação e solvólise.

2.3.1 Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica consiste na conversão dos descartes plásticos pré-consumo ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como sacos de

lixo, solados de sapatos, pisos, conduítes, mangueiras, componentes de automóveis, embalagens não-alimentícias e outros.

Atualmente existe uma participação ainda muito pequena da reciclagem de plástico em relação ao potencial de mercado interno no Brasil. A reciclagem mecânica tende a crescer significativamente devido à abundância de matéria-prima existente e às oportunidades dadas a esta atividade (CEMPRE, 1998).

O Brasil, em reciclagem mecânica, está à frente de nações como Portugal, Suécia, França e China, como mostrado na Tabela 02. Os elevados índices de nações como: Alemanha, Espanha, República Tcheca, Bélgica, Noruega e Luxemburgo devem-se à inclusão da reciclagem energética desse material. É importante registrar que a reciclagem de PET no Brasil chegou a 48% em 2004.

O Brasil ocupa o 4º lugar na reciclagem mecânica do plástico, ficando atrás apenas da Alemanha, Áustria e EUA.

TABELA 02. Reciclagem de Plásticos em 2005.

RECICLAGEM DE PLÁSTICO	
Brasil	16,5%
Alemanha	Meta de 60% (alcançado 97%)
Espanha	Meta de 15% (alcançado 21,4%)
França	9,2%
República Tcheca	Meta de 15% (alcançado 34%)
Bélgica	Meta de 15% (alcançado 30%)
Noruega	Meta de 30% (alcançado 21%)
Polônia	Meta de 10% (alcançado 17%)
Suécia	8,3%
Portugal	2,9%
Luxemburgo	Meta de 15% (alcançado 30,6%)
China	10%
Estados Unidos	21,6% - só PET

Fonte: www.cempre.org.br/2006

2.3.1.1 Classificação da reciclagem mecânica:

- **Reciclagem Primária:** A reciclagem primária, também chamada de reciclagem pré-consumo, é efetuada na própria indústria geradora de resíduos, ou por outras empresas transformadoras, com materiais provenientes de resíduos industriais, que são limpos e de fácil identificação, não contaminados por impurezas (PINTO, 1995). É geralmente feita com utilização de rebarbas, apara, sobras de processo e peças defeituosas.
- **Reciclagem Secundária:** A reciclagem secundária, ou reciclagem pós-consumo é a conversão de resíduos plásticos descartados no lixo. São constituídos pelos mais diferentes tipos de materiais e resinas, com propriedades também diferentes, exigindo uma boa separação para poderem ser reaproveitados (PINTO, 1995).

A reciclagem mecânica é o método usado tanto na reciclagem primária quanto na secundária. A única diferença entre as duas é a origem do material a ser reciclado. Na primária o material a ser reciclado é classificado como pré-consumo, portanto, não é necessário lavá-lo ou separá-lo, basta levar ao moinho, para fragmentar as peças e posteriormente à extrusora. Na extrusora o material é fundido e homogeneizado ao longo da área do equipamento saindo na forma de cordões, que são resfriados em banho de água, para depois serem granulados e ensacados.

Quando a reciclagem é feita secundária, ou seja, com resíduos pós-consumo, domésticos, é necessário que haja uma separação seletiva para depois ser lavado. Esta pré-seleção é realizada para retirar materiais indesejados no processo. O material é lavado, para retirar impurezas, a seguir é secado e levado ao moinho para efetuar o corte. Novamente o material é lavado, secado e depois levado a extrusora. Para filmes plásticos, é utilizado um aglutinador que serve para compactar o material antes de ser enviado para a extrusora.

A Figura 02 mostra o sistema de reciclagem mecânica secundária, tanto para filmes plásticos quanto para os plásticos duros.

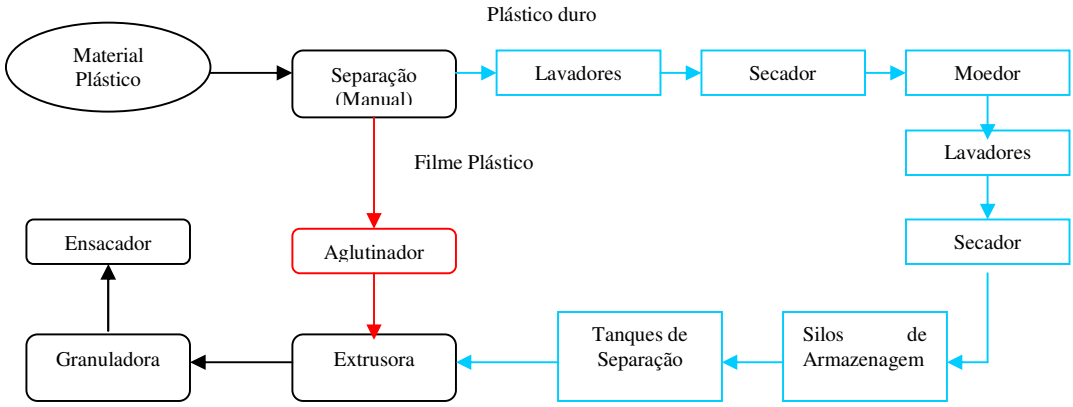

FIGURA 02. Reciclagem mecânica do tipo secundária.

O processo de reciclagem mecânica é composto pelas seguintes etapas:

Separação: É realizada a separação em uma esteira dos diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual.

Nesta etapa, são separados também rótulos de diferentes materiais, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, etc Por ser uma etapa geralmente manual, a eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam essa tarefa. Outro fator determinante da qualidade é a fonte do material a ser separado, sendo que aquele oriundo da coleta seletiva e mais limpo em relação ao material proveniente dos lixões ou aterros.

Moagem: Depois de separados os diferentes tipos de plásticos, estes são moídos e fragmentados em pequenas partes.

Lavagem: Depois de triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes (vidro, alumínio, papel/cartão, areia, tintas, resíduos de alimentos, etc). É necessário que a água de lavagem receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente.

Aglutinação: Além de completar a secagem, o material é compactado, reduzindo-se assim o volume que será enviado a extrusora. O atrito dos fragmentos contra a parede do equipamento rotativo provoca elevação da temperatura, levando à formação de uma massa plástica. O aglutinador também é utilizado para incorporação de aditivos, como cargas, pigmentos e lubrificantes.

Extrusão: A extrusora funde e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora, encontra-se o cabeçote, do qual sai um "espaguete" contínuo, que é resfriado com água. Em seguida, o "espaguete" é picotado em um granulador e transformando em pellet (grãos plásticos).

2.3.2 Métodos Avançados de Reciclagem

Os métodos avançados constituem uma família de processos, que na sua maioria, converte o material sólido, através do uso do calor e reações químicas em moléculas menores, isto é, a decomposição dos resíduos plásticos, através de processos químicos ou térmicos, em petroquímicos básicos: monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servem como matéria-prima em refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade (PLASTIVIDA/ ABIQUIM, 1997, BONELLI *apud* HIWATASHI, 1999, PINTO, 1995).

Entre os métodos avançados de reciclagem existentes, destacam-se:

Hidrogenação: As cadeias são quebradas mediante o tratamento com hidrogênio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias.

Gaseificação: Os plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio.

Quimólise: Consiste na quebra parcial ou total dos plásticos em monômeros na presença de Glicol/Metanol e água.

Pirólise: É a quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigênio. Este processo gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinaria. A pirólise é uma opção de transformação energética, que representa uma redução significativa do volume de materiais de embalagens pós-consumo, lançados sem destinação racional no meio ambiente ou em aterros sanitários. Também permite a redução considerável da utilização de outras fontes de matérias-primas não renováveis, tradicionalmente utilizadas para obtenção de energia, FORLIN e FARIA (2002).

Solvólise: Apenas um pequeno grupo de plásticos, tais como: PET, PA, PUR e PC, são indicados para reciclagem por métodos químicos. Neste processo a quebra das moléculas dos polímeros, a despolimerização conduz a monômeros originais. Dependendo do vapor d'água ou da classe de álcool que está sendo utilizado como agente de agregação, podem se chamar hidrólise, alcoólise ou glicólise.

2.3.3 Recuperação de energia

A recuperação da energia contida nos plásticos através de processos térmicos, também chamada por alguns como reciclagem quaternária, não deve ser considerado um método de reciclagem. A recuperação energética distingue-se da incineração por utilizar os resíduos plásticos como combustível na geração de vapor ou energia elétrica, reduzindo a massa de resíduo entre 70 e 90%.

> *"Deve ser levado em conta que o valor energético dos plásticos é equivalente ao de um óleo combustível (37,7 MJ/kg) e por esta razão, pode-se constituir uma valiosa fonte energética se não houver possibilidade de serem reciclados por uma das alternativas anteriores"* (Pinto, 1995).

Conforme Calderoni (1997), a queima do plástico produz gases tóxicos, como é o caso do PVC, que libera cloro, podendo produzir ácido clorídrico e dioxinas, que são fortemente tóxicos e cancerígenos.

A recuperação energética já conta com tecnologias limpas, porém ainda com custo muito alto.

Para se alcançar o equilíbrio, vários estudos já foram realizados para diminuir e racionalizar a quantidade de matéria-prima virgem, bem como a reutilização ou reciclagem de vários tipos de materiais ou até mesmo a substituição de alguns similares menos poluentes. Ao longo dos tempos já se recicla materiais como metais, vidro e papel.

Para os polímeros a reciclagem está mais desenvolvida para as poliolefinas, como é o caso do PP e PE, para polímeros clorados, como PVC e poliésteres, como PET, muito utilizado para a confecção de vasilhames descartáveis.

> *"**Poliolefinas**: São polímeros originários de hidrocarboneto alifático insaturado, contendo uma dupla ligação carbono-carbono reativa"* (CANEVAROLO, 2002).

No caso dos polímeros estirênicos, como descartáveis de poliestireno de alto impacto pouco se tem pesquisado em termos de reutilização. Sabe-se que no setor de alimentação existe uma grande formação de resíduos sólidos a partir dos descartáveis pós-consumo, gerados em restaurantes, bares, lanchonetes, *fast food*, cantinas escolares e outros.

Para uma boa reciclagem este material deve-se ser coletado no próprio local de consumo, pois desta maneira não entra em contato com intempéries, diminuindo assim as perdas em suas propriedades.

2.4 Classificação: termoplásticos convencionais, termorrígidos, elastômeros e blendas.

2.5.1 Termoplásticos convencionais.

Os materiais plásticos que possuem propriedades termoplásticas são consideradas por Canevarolo (2002) como, polímeros de baixo custo, baixo nível de exigência mecânica, alta produção e facilidade de processamento.

Os termoplásticos possuem cadeias moleculares longas com ligações fracas por forças de Van der Walls. Eles se tornam macios e flexíveis, quando aquecidos e voltam a solidificar quando resfriados novamente. Este ciclo térmico é que possibilita e facilita o reprocessamento destes materiais. O ponto negativo é que suas propriedades são sensíveis ao calor. Exemplos de alguns termoplásticos: PE, PVC, PP e PS.

Ainda como classificação de termoplásticos têm-se: os especiais, levemente superiores aos convencionais (EVA,PMMA), os de engenharia, bons para aplicações em dispositivos mecânicos (PET,PC,ABS) e os de engenharia especiais, utilizados onde a temperatura é a maior exigência (poliimidas, polissulfeto de fenileno, polissulfonas).

2.4.2 Características dos polímeros utilizados no trabalho:

2.4.2.1 Polipropileno

O polipropileno foi sintetizado por Natta em 1954, utilizando um sistema catalisador de coordenação constituído de $TiCl_4$ e $Al(C_2H_5)$, baseado no sistema Ziegler usado na síntese do polímero do etileno. O PP isotático apresenta uma estrutura estericamente ordenada e pode ser separado do PP atático amorfo, pela solubilidade do último em n-hexano. A utilização dos outros sistemas de catalisadores dá origem ao PP sindiotático, mais voltado para o uso científico (LIEBERAN, 1987).

> *"**Isotático**: São polímeros regulares cujas moléculas podem ser descritas em termos de uma só espécie de unidade configuracional básica em um único arranjo seqüenciais. Em um polímero isotático, a unidade configuracional repetitiva é idêntica à unidade básica"* (ANDRADE, 2002).

O PP comercial é mais que 95% isotático e tem uma massa molar média de 4,0 a $6{,}0 \times 10^4$ g/mol. Cristaliza-se com as moléculas em hélice formando uma estrutura esferulítica radial. A cinética de cristalização é controlada por nucleação (LIEBERAN, 1987, YU,1996). O PP é um termoplástico semicristalino e apresenta densidade em torno de 0,90 g/cm^3, com cristalinidade ao redor de 50%. Apresenta temperatura de fusão (T_m) em 165 +/- 5 ^oC e temperatura de transição vítrea (T_g) ao redor de 0 ^oC (LIEBERAN,1987).

As propriedades mecânicas do polipropileno são fortemente influenciadas pela massa molar, distribuição de massa molar, estereorregularidade da cadeia e condições de processamento, as quais introduzem orientações, tensões, etc (WHITELEY, 1982).

> *"A cristalinidade pode ser conceituada como um arranjo ordenado de matéria no espaço, com repetição regular de grupos atômicos ou moleculares, no caso de polímeros, depende da estrutura química, do peso molecular e do tratamento físico, incluindo temperatura, tempo e forças a que foi submetido o material. Existe uma ordenação tridimensional das moléculas quando for polímero cristalino"* (MANO e MENDES, 1999).

Quanto maior for a cristalinidade, maior será a densidade, a rigidez e a resistência mecânica, térmica e químicas do polímero, e menor será sua transparência (MANO e MENDES, 1999).

Segundo Lieberan (1987), o polipropileno é considerado um termoplástico *commoditie*, sendo utilizado em moldagem por injeção, sopro e extrusão (geral, termoformagem, fibras e filmes).

A grande diversidade de produtos de PP é devido a sua facilidade de processamento, boas propriedades mecânicas (alta resistência à tração e rigidez, aliada a tenacidade, estabilidade dimensional sob altas temperaturas), alta resistência química, eficiente barreira à umidade e transparência quando orientado, baixo custo e baixa densidade (LIEBERAN, 1987, YU,1996, PRIOLEAU,1995).

Produção nacional de polipropileno

A Tabela 03 mostra a capacidade instalada de polipropileno no Brasil em 2004 e a localização das empresas produtoras. A maior parte da produção de polipropileno está localizada no sul e sudeste do país e é representada por apenas três empresas.

TABELA 03. Capacidade instalada de Polipropileno (t/ano)

Empresa	Localização	Capacidade Instalada em 2004
Braskem	RS	650.000
Ipiranga Petroquímica	RS	150.000
Polibrasil Resinas	SP/BA/RJ	625.000
Total		**1.425.000**

Fonte: ABIQUIM 2005

A produção e as vendas declaradas no ano de 2004 estão mostradas na Tabela 04. Podemos observar que praticamente 80% da capacidade instalada foi produzida. As vendas declaradas foram de praticamente 87% para o consumo nacional e apenas 23% aproximadamente foi exportado.

TABELA 04. Produção e vendas declaradas de Polipropileno (t/ano)

Ano	Produção	Vendas Internas	Vendas Externas
2000	847.639,0	662.767,0	137.349,0
2001	831.778,0	728.640,0	96.745,0
2002	890.979,0	847.485,0	62.133,0
2003	1.011.523,0	849.239,0	158.951,0
2004	1.130.186,0	975.996,0	155.791,0

Fonte: ABIQUIM 2005

O destino para estes 87%, aproximadamente 976.000 t/ano está demonstrado na Tabela 05, onde pode-se observar que o maior segmento consumidor de polipropileno no Brasil é o alimentício seguido de bens de consumo.

TABELA 05. Destino aproximado das vendas internas de Polipropileno

Aplicações	**%**
Alimentício (bobinas, tampas, potes, big bags, frascos, garrafas).	36,9
Bens de consumo (bobinas, caixas, utilidades domésticas e tecidos técnicos).	35,2
Higiene pessoal (frascos, fibra para fraldas e absorventes).	6,1
Agrícola (sacaria e tecidos técnicos).	5,7
Cosmético e farmacêutico	5,6
Industrial (fitas para embalagens, filamentos, baldes e sacaria).	4,3
Construção civil	2,9
Automobilístico	1,2
Outras	2,1
Total	**100,0**

Fonte: ABIQUIM 2005

Características do polímero:

TABELA 06. Características do polipropileno	
Fórmula	$\sim[CH_2—CH(CH_3)]_x\sim$
Peso molecular	80.000-500.000
Densidade (g/m^3)	0,90
Índice de refração	1,49
T_m (^oC)	165-175
T_g (^oC)	4-12
Cristalinidade (%)	60-70
Caracerísticas	Termoplástico, branco, opaco.

Propriedades marcantes:

Alta resistência química e a solventes, menor custo, baixa absorção a umidade, soldável e moldável, atóxico, bom isolante térmico, fácil usinagem, leveza e regular resistência ao atrito.

Aplicações típicas:

Pára-choques de carros, carcaças de eletrodomésticos, recipientes, fitas para lacre de embalagens, brinquedos, sacaria, carpetes, tubos de carga de caneta, bocal de pistola para aplicação de aerossóis, material hospitalar, seringas de injeção descartáveis. Tanques de produtos químicos, conexões e válvulas, tubulações de produtos químicos, aparelhos ortopédicos, engrenagem com pouco esforço mecânico, mesa para laboratório, separador de garrafas, molde para a indústria de fibras, placas de filtro prensa, estrelas e roscas sem-fim, cobertura para cabos de alta-tensão e muitas mais aplicações. (ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.2.2 Poliestireno

A primeira referência ao trabalho com estireno pode ser atribuída a *storax gum,* que era obtida de uma árvore. Se destilada em água, essa goma gerava um material oleoso de odor desagradável e que continha, em sua composição, a mesma razão entre carbono e hidrogênio apresentado benzeno. É comum, no entanto, creditar a Bonastre o primeiro isolamento do monômero de estireno em 1831. (BISHOP, 1971).

O estudo da polimerização iniciou quando E. Simon em 1839 divulgou em seus experimentos que o monômero de estireno foi transformado num material que apresentava um maior ordenamento. Esse material foi interpretado por ele como sendo um *styrol oxide*. As reações eram conduzidas através de aquecimento e em contato com o ar. (BISHOP, 1971).

Ao longo dos anos, vários pesquisadores desenvolveram métodos para a polimerização do monômero de estireno, mas devido a alta reatividade do estireno, as operações de estocagem, refino e purificação, eram, na época, muito difíceis.

Em 1922 Moureau e Dufraise descobriram que inibidores de aminas aromáticas e fenóis retardavam a polimerização do estireno. Essa grande descoberta possibilitou o aumento de estireno disponível no mercado. Durante a Segunda Guerra Mundial, houve um aumento na demanda e a produção de atingiu aproximadamente 200.000 toneladas.

A maioria dos trabalhos sobre polimerização do estireno foi realizada usando técnicas de polimerização em massa e apenas com aquecimento. Em meados de 1930, uma grande quantidade de trabalhos foi realizada em diversos países sobre sistemas de polimerização do estireno em emulsão, com uma variedade de técnicas que permitiram a obtenção de borracha sintética, com propriedades mais semelhantes à borracha natural.

Hohenstein foi então capaz de produzir poliestireno com excelente moldabilidade, em forma de pequenas esferas ou pérolas, usando fosfato tricálcio (TCP) finamente dividido. Esse foi o primeiro trabalho reportado sobre a técnica de polimerização do estireno em suspensão.

À medida que as técnicas avançavam, os sistemas de polimerização em massa e em suspensão provaram ser os métodos de preparo de poliestireno mais vantajosos do ponto de vista econômico.

Produção nacional de poliestireno

No ano de 2002 o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico Social, BNDES, publicou relatório informando sobre a situação do mercado de estireno e poliestireno, situando-os em nível nacional e mundial.

Portanto a fim de avaliar as flutuações da oferta e da demanda é importante avaliar a sua matéria-prima, o estireno. Este é utilizado na fabricação de uma série de produtos e a distribuição do consumo de estireno por produto na América Latina em 2001 é mostrada na Figura 03.

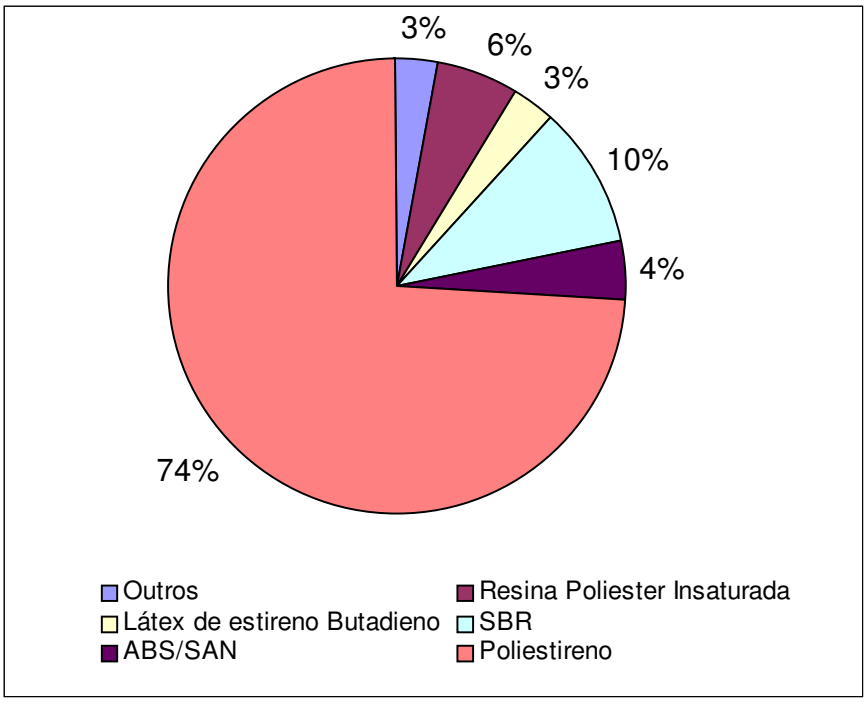

FIGURA 03. Consumo de estireno por produto em 2001
Fonte: BNDES, 2002.

A produção de poliestireno é a que consome praticamente todo o estireno produzido no Brasil, e deste total (74%), apenas 14% é poliestireno expansível e o restante (60%) é de poliestireno de alto impacto.

Como acontece no cenário mundial, também no Brasil, o poliestireno tem a menor participação entre os termoplásticos, sendo ultrapassado pelo polietileno de alta densidade, com 42%, polipropileno, com 22%, PVC, com 17%, PET, com 10% e finalmente o poliestireno com 9% apenas de participação.

A Figura 04 mostra a evolução do consumo aparente nacional de poliestireno no período de 1997 a 2001.

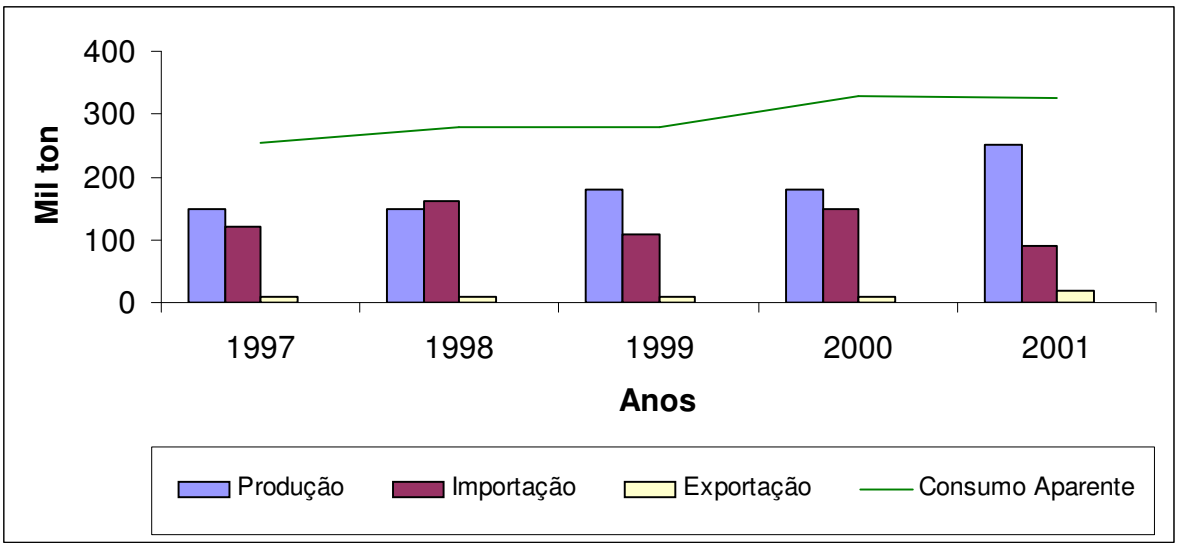

FIGURA 04 - Consumo aparente de poliestireno nacional (1997-2001).
Fonte: BNDES, 2002.

A Tabela 07 mostra a capacidade instalada de poliestireno de alto impacto no Brasil em 2004 e a localização das empresas produtoras. A maior parte da produção de poliestireno está localizada no sudeste do país.

TABELA 07. Capacidade instalada de Poliestireno (t/ano)

Empresa	Localização	Capacidade Instalada em 2004
Basf	SP	190.000
EDN-Sul	SP	190.000
Innova	RS	120.000
Resinor	SP	1.620
Videolar	AM	120.000
Total		**621.620**

Fonte: ABIQUIM 2005

A produção e as vendas declaradas no ano de 2004 estão mostradas na Tabela 08. Podemos observar que somente 50% da capacidade instalada foi produzida. As vendas declaradas foram de praticamente 87% para o consumo nacional e apenas 23% aproximadamente foi exportado.

TABELA 08. Produção e vendas declaradas de Poliestireno (t/ano)

Ano	Produção	Vendas Internas	Vendas Externas
2000	175.575,0	146.410,0	8.532,0
2001	238.686,0	225.477,0	15.471,0
2002	314.388,1	256.201,0	50.688,3
2003	292.295,9	253.954,6	43.328,3
2004	318.662,0	277.839,6	42.187,0

Fonte: ABIQUIM 2005

O destino para estes 87%, aproximadamente 278.000 t/ano está demonstrado na Tabela 09, onde podemos observar que o maior segmento consumidor de poliestireno no Brasil é o de eletrodomésticos (37,3%), embalagens (21,1%) e descartáveis (9,3%).

TABELA 09. Destino aproximado das vendas internas de Poliestireno

Aplicações	%
Eletrodomésticos	37,3
Embalagens	21,1
Descartáveis	9,3
Construção civil	6,7
Calçados	0,4
Brinquedos	0,1
Outras	25,1
Total	**100,0**

Fonte: ABIQUIM 2005

Características do polímero:

TABELA 10. Características do poliestireno	
Fórmula	~[CH_2—$CH(C_6H_5)$]$_x$•[CH_2—CH==CH—CH_2]$_y$~
Peso molecular	300.000
Densidade (g/m^3)	1,05 - 1,06
Índice de refração	1,59
T_m (^{o}C)	235
T_g (^{o}C)	100
Cristalinidade (%)	Muito baixa
Caracerísticas	Termoplástico, incolor, transparente.

> *"Ao elevar-se progressivamente a temperatura da massa polimérica resfriada, passa-se primeiro por uma transição de pseudo-segunda ordem, chamada de temperatura de transição vítrea,* ***Tg*** *(glass transition temperature), a partir da qual as regiões amorfas adquirem progressivamente a sua mobilidade. Prosseguindo com o aquecimento, passa-se por uma transição de primeira ordem denominada temperatura de fusão cristalina,* ***Tm*** *(melt temperature). Acima desta temperatura, o polímero estará no estado viscoso, adequado para a moldagem de artefatos"* (MENDES, 1999).

Propriedades marcantes:

Rigidez, semelhança ao vidro, alta resistência química, baixa resistência a solventes orgânicos, baixa resistência às intempéries, menor custo, inodoro, boa estabilidade dimensional e pequena absorção a umidade.

Aplicações típicas:

Utensílios domésticos rígidos descartáveis, transparentes ou não, de uso generalizado, brinquedos, escovas, embalagens rígidas para cosméticos. Sob a forma celular, no isolamento ao frio, na embalagem de equipamentos, em pranchas flutuadoras. Peças de máquinas e veículos,

gabinetes para rádio e televisão, circuladores de ar e em artigos especiais. (ALBUQUERQUE, 2000).

2.4.3 Termorrígidos

Também conhecidos como termofíxos, termoendurecido, polímeros em rede ou em retículo, são polímeros que, quando sujeitos a aplicações de temperatura e pressão, amolecem e fluem adquirindo as formas do molde, reagem quimicamente formando ligações cruzadas entre cadeias e se solidificam. (CANEVAROLO, 2002).

Os polímeros termorrígidos são infusíveis e solúveis ou não em solventes, apresentam reticulações de natureza físico-química, envolvendo ligações hidrogênicas, ou química, através de ligações covalentes. Distingue-se dos termoplásticos pela presença de grupamentos muito polares, tais como hidroxila, carboxila, amida ou nitrila, que permitem estabelecer fortes interações intermoleculares, as quais não são desfeitas pelos solventes orgânicos comuns. (MANO e MENDES, 2000).

2.4.4 Elastômeros

Segundo a ASTM (Americam Standart of Testing Materials) elastômero é um material capaz de se recuperar rápida e energicamente de grandes deformações, ou seja, deve retrair-se, dentro de um minuto, a menos de 1,5 vezes o seu comprimento original depois de ser esticado a duas vezes o seu comprimento, e assim mantido por um minuto antes de ser liberado. Como exemplos de borrachas ou elastômeros, temos o polibutadieno, a borracha nitriliza, o poli(estireno-co-butadieno), conhecido como SBR, o copolímero de uréia e uretano, etc.

Canevarolo (2002) diz que elastômeros, na temperatura ambiente, podem deformar-se no mínimo duas vezes o seu comprimento inicial, retornando ao comprimento original rapidamente depois de retirado o esforço.

Os elastômeros são formados por longas cadeias aleatórias em forma de molas retorcidas. Esta formação é que possibilita a flexibilidade e as grandes deformações. Por cura as cadeias são ancoradas num processo de vulcanização ou reticulação.

Alguns elastômeros: SBS (Co-bloco Estireno Butadieno Estireno), SBR (Estireno Butadieno) e SEBS (Co-bloco Estireno Etileno Butadieno Estireno).

2.4.5 Blendas

Seguindo o mesmo princípio das ligas metálicas é que se forma as blendas poliméricas. A partir da adição de vários materiais melhoram-se as propriedades ou acrescentam-se outras. Um exemplo típico é o ABS (Acrilonitrila butadieno e estireno).

A compatibilidade em blendas pode ser verificada através de calorimetria exploratória diferencial (DSC), mensurando as temperaturas de fusão e temperatura vítrea da blenda polimérica.

Quando as blendas forem miscíveis, as transições são bem definidas e quando forem imiscíveis as transições são separadas.

> ***Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC):*** *"É uma técnica que mede a diferença entre o fluxo de calor da amostra e da referência monitorada contra o tempo ou temperatura em uma atmosfera controlada. Usada para determinar mudanças físicas como entalpias e temperaturas de fusão, cristalização, capacidade calorífica, transição vítrea, diagramas de fase e reações químicas como decomposições, curas e oxidações*" (Yokoyama,1998).

A compatibilização de blendas poliméricas tem sido, nas últimas duas décadas, uma área de grande interesse para a Engenharia de Materiais. Em geral, uma blenda polimérica é compatibilizada através da sua mistura com um copolímero em bloco ou um reagente químico de baixo peso molecular.

Na mistura de dois componentes, de natureza química diversa, de qualquer dimensão ou forma, para que ocorra uma interação é essencial a existência de áreas de contato entre eles. Quanto maior for essa área, tanto maior será a possibilidade de ocorrer entre os dois componentes uma interação de natureza física, química ou físico-química. (MANO, 2000).

Assim, em uma mistura polimérica, os constituintes podem interagir entre si, a nível molecular, resultando uma única fase (sistema miscível), ou interagir somente na interface, ocorrendo mais de uma fase (sistema imiscível), com compatibilidade parcial, ou ainda apenas coexistir, havendo incompatibilidade. Quando a afinidade química é muito pequena, a adição de um terceiro componente de ação compatibilizante é fundamental.

A estabilização da morfologia das fases nas misturas imiscíveis é obtida pela adição de um compatibilizante. Algumas das propriedades são melhoradas, ao mesmo tempo em que outras são pioradas, porem não linearmente, ao contrário do que se observa nas misturas miscíveis.

Nas misturas imiscíveis, as dimensões das partículas e o grau de dispersão de uma fase na outra são de grande importância para o desempenho tecnológico. É freqüente tentar-se melhorar a resistência ao impacto de polímeros rígidos que já tem uma série de características convenientes, exceto a fragilidade. Para isso, dispersa-se no polímero rígido um componente macio, borrachoso, cujas partículas atuam como regiões de distribuição de tensões, por sub-divisão da força aplicada em forças menores, evitando que as fraturas maiores se propaguem, aumentando, assim, a resistência ao impacto.

Na maioria dos casos, o objetivo é elevar a resistência ao impacto, especialmente a baixas temperaturas. Outras qualidades também visadas para a valorização são: melhoria da processabilidade, aumento da resistência a intempéries e menor custo. (MANO, 2000).

Sistemas compostos por PP e HIPS são imiscíveis, resultando assim na segregação de fases. Mas é fato que a introdução de um agente compatibilizante possibilita promoção da interação interfacial.

Neste trabalho o poliestireno de alto impacto pós-consumo utilizado tem origem na fabricação de copos descartáveis e, segundo um dos maiores fornecedores deste polímero a Dow Química Latino América a incorporação do aditivo polibutadieno neste polímero varia de 4 a 10% em peso.(DOW, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos experimentais, bem como as análises pertinentes a este trabalho foram realizadas no Laboratório de Transformação, Laboratório de Caracterização de Materiais Poliméricos da Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina (SATC) e do Núcleo de Educação Tecnológica (NET) do SENAI de Criciúma/SC, e no Laboratório de Controle de Processo LCP da Universidade Federal de Santa Catarina.

Os materiais utilizados foram polipropileno CP 741, da Braskem, doado por Canguru Embalagens Plásticas Ltda e poliestireno de alto impacto pós-consumo, oriundo de copos descartáveis coletados nas cantinas e bebedouros da instituição SATC/Senai, compostos por copos descartáveis brancos.

Nas seções subseqüentes deste capítulo, são apresentados os procedimentos experimentais envolvidos na caracterização das propriedades mecânicas da blenda de HIPS pós-consumo e polipropileno, bem como as etapas intermediárias que foram necessárias para a obtenção das formulações.

3.1 Fluxograma das atividades desenvolvidas

O fluxograma esquemático representado na Figura 05 descreve a metodologia utilizada na caracterização das propriedades mecânicas da blenda de HIPS pós-consumo, a partir de copos descartáveis, e polipropileno virgem, o qual apresenta cada etapa do processamento experimental especificado na seqüência.

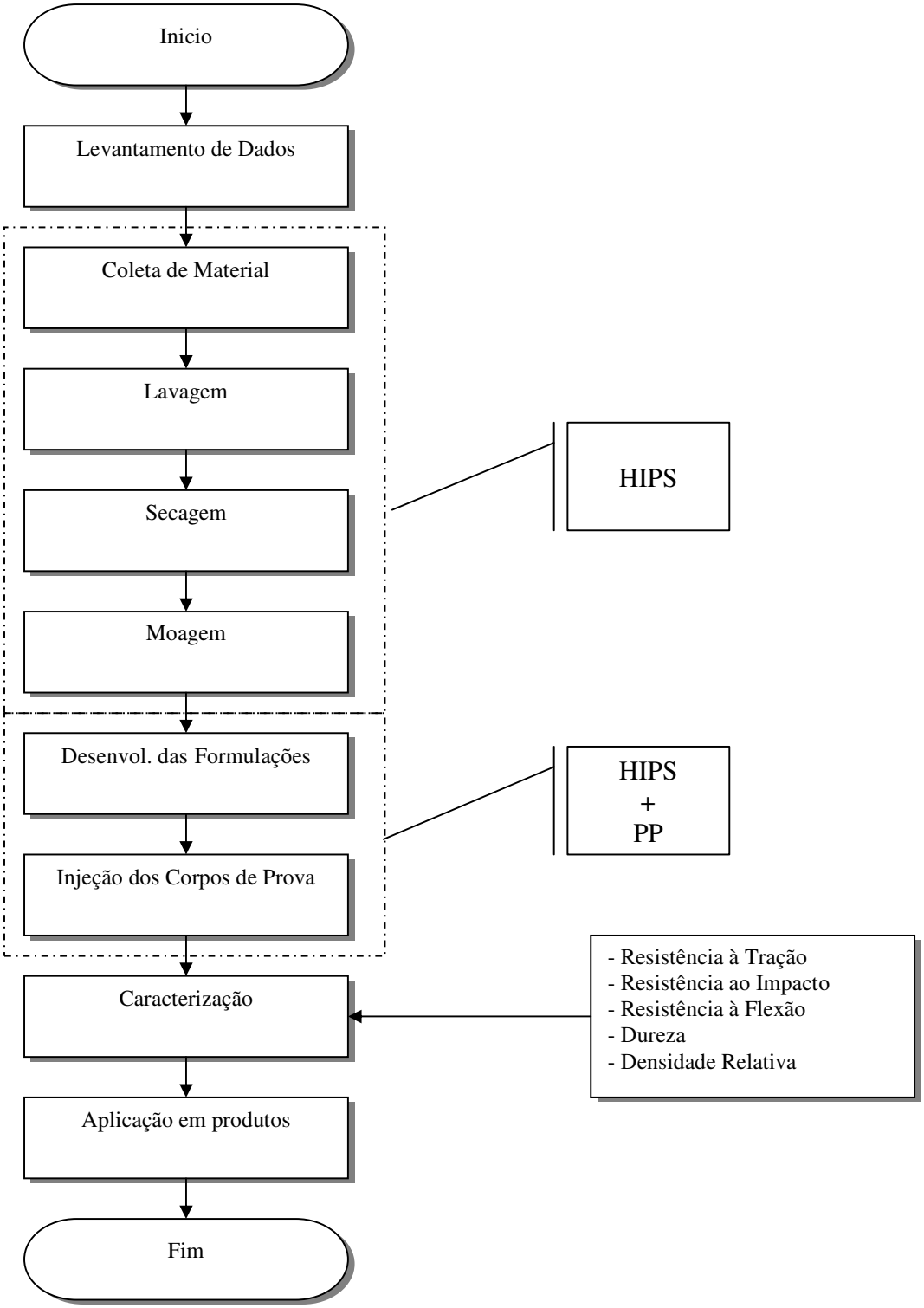

FIGURA 05. Fluxograma do procedimento executado durante o desenvolvimento deste trabalho experimental.

3.1.1 Levantamento de dados

Inicialmente foi realizado um levantamento de dados com o objetivo de mensurar a quantidade de copos descartáveis que são depositados nos coletores seletivos na escola SATC/SENAI CET Criciúma, durante um período de dez dias para depois fazer uma estimativa do resíduo sólido de material poliestirênico gerado na escola.

A Tabela 11 nos mostra uma estimativa mensal do consumo de copos descartáveis na escola, pelos alunos e departamentos administrativos e a quantidade de HIPS pós-consumo gerado.

TABELA 11. Consumo mensal estimado de copos descartáveis na escola

	Quantidade	**Copos/mês**	**Peso unitário (g)**	**Kg/mês**
Alunos	5.000	20.000	2,0	40,0
Funcionários	350	24.000		48,0
Total				88,0

O levantamento de dados citado anteriormente foi realizado junto às cantinas localizadas no interior da escola e nos bebedouros dos departamentos administrativos.

3.1.2 Coleta de material

Foram recolhidas amostras de poliestireno de alto impacto pós-consumo nos ambientes da escola SATC/Senai, localizada na rua Pascoal Meller, 73, Criciúma-SC. Na escola existe um programa de coleta seletiva de lixo, com lixeiras seletivas coloridas para os diversos materiais recicláveis e um coletor seletivo, conforme Figura 06, fabricado com tubos de PVC com 85mm de diâmetro e 1000mm de altura, utilizado apenas para selecionar copos descartáveis de 100ml, localizado nas cantinas e bebedouros da escola.

Este coletor seletivo permite a separação do material polimérico para o estudo. O material recolhido diariamente foi transportado em sacos plásticos ao depósito, para ser submetido às etapas posteriores.

FIGURA 06. Lixeiras seletivas coloridas e coletor seletivo para copos descartáveis.

Para facilitar os processos seguintes o material coletado foi fragmentado como mostrado na Figura 07, em um triturador.

FIGURA 07. Copos descartáveis fragmentados.

3.1.3 Lavagem

A lavagem do material polimérico pós-consumo coletado foi realizada manualmente em tanques de 100 litros de capacidade de polietileno de alta densidade, com água e detergente comercial.

3.1.4 Secagem

O material foi seco em exposição ao ar natural, em seguida armazenado em sacos plásticos. O produto seco resultante foi utilizado diretamente nas etapas seguintes.

3.1.5 Moagem

O material lavado e seco, foi reduzido a pequenos flocos, em moinho de facas Rone, com motor de 4HP e 4 facas de 200mm, com peneira de furos com diâmetro de 1/4", mostrado na Figura 08.

FIGURA 08. Moinho de facas Rone.

A Figura 09 mostra os fragmentos dos copos após serem processados no moinho indicado na Figura 08. Após a moagem dos copos, foi determinado a densidade média aparente do HIPS, pelo método de Arquimedes, e o resultado apresentado foi de 1,03 g/cm^3 .

FIGURA 09. Copos descartáveis moídos.

3.1.6 Desenvolvimento das formulações

Após a moagem do material polimérico pós-consumo, conforme Figura 09, foram propostas 5 formulações, com diferentes proporções de poliestireno alto impacto em volume no polipropileno virgem, para a fabricação dos corpos de prova, conforme o Tabela 12.

TABELA 12. Formulação das amostras de PP incorporados com HIPS pós-consumo

FORMULAÇÕES	PROPORÇÕES DA FORMULAÇÃO (% em volume)	
	PP [(a)]	HIPS [(b)]
F_1	100	0
F_2	90	10
F_3	80	20
F_4	70	30
F_5	50	50
F_6	30	70

[(a)] **Polipropileno virgem.**

[(b)] **Poliestireno de alto impacto pós-consumo: copos descartáveis.**

As formulações de 20/80, 10/90 e 100% de HIPS não foram executadas devido à dificuldade no processamento por injeção a partir da formulação F_6 . A partir da formulação F_6 o poliestireno de alto impacto pós-consumo triturado apresentou dificuldade em escoar pelo funil até chegar ao canal de alimentação do conjunto injetor, prejudicando o ciclo de conformação por injeção.

A Figuras 10 e 11 mostram o polipropileno virgem e o HIPS pós-consumo moído, respectivamente, utilizados nas misturas das formulações.

FIGURA 10. Polipropileno virgem.

FIGURA 11. Copos descartáveis moídos.

Como medida volumétrica para as partes foi utilizado um béquer de 2000ml, como mostrado na Figura 12.

FIGURA 12. Béquer 2000ml.

As formulações, conforme Figura 13, foram misturadas em misturador mecânico/manual de transformação, tomando o cuidado para garantir a perfeita homogeneização das formulações.

FIGURA 13. Formulações.

3.1.7 Injeção dos corpos de prova

O processamento das formulações (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 e F_6) foi realizado numa injetora Pavan Zanetti industrial com força de fechamento de 100 t e volume de injeção de 170 cm^3, como mostrado na Figura 14.

FIGURA 14. Injetora utilizada para a formação dos corpos-de-prova.

3.1.7.1 Determinação das condições de processamento

A temperatura e a velocidade de injeção afetam a produtividade e as propriedades físicas do produto. Além disso, durante o processamento o material está sujeito a tensões e ao calor, os quais pode iniciar uma variedade de processos de degradação e comprometer o tempo de vida produto (Gaylord,1983).

A extrusão de um material a temperatura muito baixa, permite o melhor manuseio do material e mais facilmente o seu resfriamento, porém, se for muito baixa a temperatura existe um aumento na viscosidade com elevação da tensão de cisalhamento, apresentando um produto com má aparência e fusão tardia.

Uma temperatura elevada na zona de alimentação pode causar a fusão da resina e permite a degradação termoxidativa de modo mais pronunciado, além de reduzir a produtividade de injetora.

A velocidade muito lenta da injetora aumenta o tempo de residência do material e rotações muito altas podem dificultar a fusão e homogeneização, além de fornecer maior cizalhamento.

Foram utilizados como moldes de corpos-de-prova, placas com áreas vazadas nas dimensões desejadas conforme normas ASTM D1708-03. Os perfis de temperatura utilizados nas quatro zonas foram de 170 ºC / 180 ºC / 180 ºC / 190 ºC. Foram produzidos 50 corpos-de-prova por formulação e destes foram retirados 20 corpos-de-prova aleatoriamente, para serem utilizados nos ensaios mecânicos realizados posteriormente. Os modelos dos corpos-de-prova estão apresentados na Figura 15.

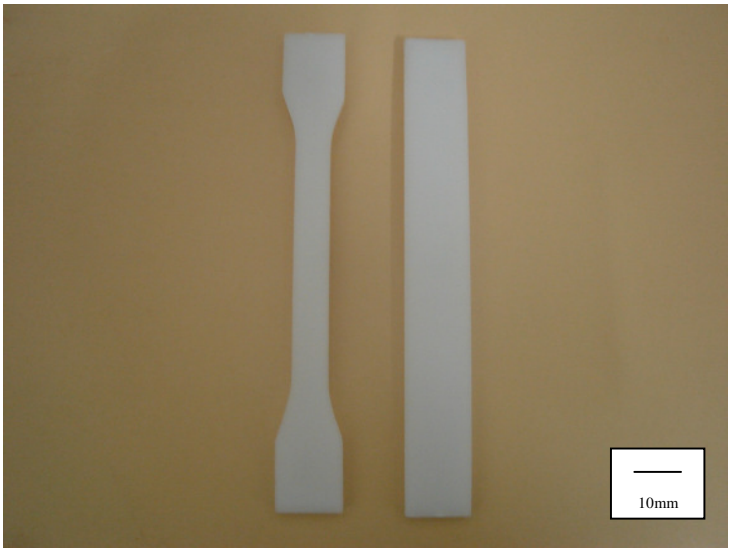

FIGURA 15. Modelos de corpos-de-prova.

3.1.8 Caracterização dos ensaios

Para se conhecer um polímero e sua aplicação nada melhor do que determinar suas propriedades, tais como resistência elétrica, solubilidade, viscosidade, densidade, resistência química e propriedades mecânicas. Dentre estas, as propriedades mecânicas são de fundamental importância para a especificação de um polímero cuja sua aplicação estará submetida a esforços mecânicos. Segundo Mano (2000) o comportamento do material, tanto no regime elástico como no regime plástico, sob ação de esforços, podem definidos através das propriedades mecânicas.

No presente trabalho foram abordadas as seguintes propriedades mecânicas: resistência à tração; alongamento na ruptura; resistência à flexão, resistência ao impacto; dureza e também se verificou a variação de densidade conforme o grau de incorporação de HIPS pós-consumo no polipropileno virgem.

As formulações aos quais essas propriedades se referem estão representadas por siglas; os resultados alcançados foram sempre analisados e comparados com relação ao polipropileno virgem processado.

3.1.8.1 Ensaio de tração

A resistência à tração ou tenacidade de um material, é verificada através de uma carga aplicada ao material por unidade de área, no momento de sua ruptura. A resistência a tração é determinada pelo estiramento de uma amostra a uma taxa constante, sob monitoração, obtendo-se um gráfico de força versus alongamento.

Dependendo das características de cada polímero a curva é representada de forma diferente. Este teste é bastante influenciado pela temperatura, taxa de estiramento, nível de umidade, condição de processamento e fabricação do corpo de prova. (MANO 1991). Os resultados são expressos em MPa, Pa, N/m^2 ou Kgf/mm^2. A unidade utilizada para a resistência a tração neste trabalho foi MPa.

Para o ensaio de resistência a tração foi utilizada uma máquina de ensaio universal, mostrada na Figura 16, da marca Emic, com resistência mecânica a tração/compressão de 10.000Kgf e faixa de velocidades de 0,01 a 500mm/min. O método utilizado foi segundo a norma ASTM D1708-93, com a velocidade constante de separação entre garras de 5 mm/min. As associações de normas técnicas geralmente estipulam as velocidades de ensaio para cada tipo de material, porém estas velocidades podem ser alteradas quando se realiza um ensaio de tração para fins de estudo. A velocidade do ensaio é muito importante, pois esta influencia os resultados numéricos de propriedades mecânicas obtidos através do ensaio de tração. (LUCKMANN,2005)

FIGURA 16. Máquina de ensaio universal Emic.

3.1.8.2 Alongamento na ruptura

O alongamento na ruptura indica o aumento percentual do comprimento do corpo de prova sob tensão, no momento da ruptura. Grandes alongamentos são verificados nos polímeros em geral, mais especificamente nas borrachas.

Para este trabalho o método utilizado está baseado segundo a norma ASTM D1708-93 e o resultado é expresso em percentual de alongamento.

3.1.8.3 Resistência à flexão

A resistência à flexão mostra a tensão máxima atuando numa superfície de uma barra quando sujeita ao esforço de dobramento. A flexão é aplicada em materiais rígidos, isto é, aqueles que não vergam excessivamente sob a ação de esforço. A flexão pode ser expressa em Kgf/mm^2 , N/m^2 e neste trabalho a leitura foi registrada em N/mm.

Para o ensaio de resistência à flexão foi utilizado o método segundo a norma internacional ASTM D790-93, com a velocidade constante de aproximação entre garras utilizada foi de 5 mm/min.

3.1.8.4 Resistência ao impacto

A resistência ao impacto representa a quantidade de energia consumida para quebrar o corpo de prova e as variáveis que influenciam os resultados deste teste são temperatura do experimento, preparação da amostra, espessura e razão do raio de entalhe versus profundidade. (WINTERMEYER, 1985).

A resistência ao impacto pode ser expressa em J/m e kgf/m^2, sendo que para este trabalho a leitura foi realizada em J/m.

Para o ensaio de resistência a impacto foi utilizado um equipamento de impacto, conforme mostrado na Figura 17, da marca Emic, utilizando o método Charpy AIC-2, segundo a norma ASTM D256-84, com pêndulo de 21,6 J, velocidade de impacto de 3,45m/s e ângulo de queda inicial de 60° em relação a horizontal.

Os corpos de prova do tipo perfil retangular foram produzidos através de injeção, com as dimensões de 127mm x 12,7mm x 6,4mm e entalhe tipo “V” de 3mm com ângulo de 45^{o,} conforme a norma NBR 9564-86.

FIGURA 17. Equipamento de impacto Emic.

3.1.8.5 Dureza Shore

A dureza mede a resistência a penetração, ou ao risco. A dureza para polímeros pode ser medida em escalas Shore A, e Shore D, para polímeros menos e mais duros respectivamente. A Dureza Shore A se aplica a materiais flexíveis, com o uso de identador específico e carga de 1Kg, e a Dureza Shore D é utilizada para materiais rígidos com identador específico e carga de 5Kg. Para valores superiores a 90 Shore A utiliza-se o equipamento Shore D e para valores inferiores a 20 Shore D utiliza-se o equipamento Shore A (JOAQUIM, 1995).

Para o ensaio de dureza foi utilizado um equipamento durômetro Woltest, modelo GS 702, conforme mostrado na Figura 18. O método utilizado foi baseado no procedimento da norma ASTM D2240-85, empregando corpos de prova retangulares com espessura de 6,4mm e identador específico para materiais rígidos de 5 kg, utilizando a unidade de medida de Shore D.

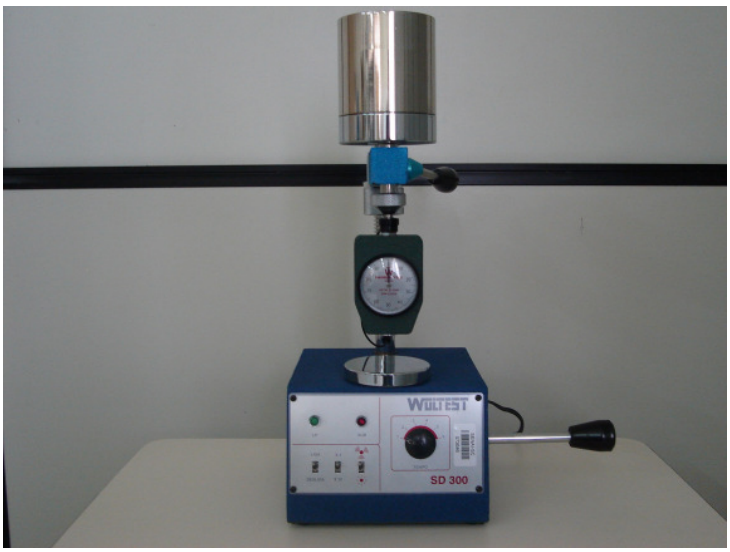

FIGURA 18. Equipamento durômetro Woltest.

3.1.8.6 Densidade relativa

A determinação da densidade das peças moldadas tem especial importância na transformação de materiais plásticos parcialmente cristalinos. A densidade destes materiais plásticos é uma medida de sua cristalinidade, que por sua vez depende muito das condições de transformação.

Sempre que for medida a densidade de uma peça moldada deve-se levar em conta que está se medindo unicamente uma densidade média, que depende de diferentes distribuições da mesma, derivadas do processo de moldagem.

Para o ensaio da determinação da densidade relativa foi montado um suporte, numa balança analítica eletrônica digital, da marca Marte, modelo AL 500, com sensibilidade de 0,0001g, conforme a Figura 19. O método da pesagem hidrostática, método A2, utilizado é normalizado pela ASTM D-792-91.

Os valores foram obtidos pelo método de Arquimedes, avaliando a variação de peso da amostra dentro e fora do líquido de imersão. Para este método foi utilizado um líquido de imersão que não viesse a comprometer o material, para este experimento foi utilizado etanol.

Para a realização do ensaio foram retirados 10 corpos de prova de cada formulação injetadas e destes foram coletadas 5 lâminas com dimensão de 20mm x 20mm x 1mm, para a imersão no líquido.

FIGURA 19. Esquema montado para determinação da densidade relativa.

A partir da equação se determina a densidade relativa da amostra.

$$\rho = \frac{a \times d}{a + \omega - b} \qquad (1)$$

onde: ρ - densidade da amostra

ω - peso aparente do arame mergulhado no líquido de imersão

a - peso aparente da amostra

b - peso aparente da amostra mais o arame mergulhado no líquido de imersão

d - densidade do líquido de imersão

4. RESULTADOS

4.1 Resistência à tração e alongamento na ruptura

A Tabela 13 apresenta os valores experimentais obtidos para a resistência à tração, referentes à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores representados são atribuídos a cinco corpos de prova com 100% de polipropileno, com uma força máxima de 913,68N, uma tensão média de 20,52 MPa e deformação média de 368,91% de alongamento na ruptura e um desvio padrão de 0,83, 0,32 e 0,96 respectivamente.

TABELA 13. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_1

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **21/02/2005**
Método de Ensaio: **Tração CP (limite 500Kgf)** Material: **100% PP**
Célula de carga: **Trd 25**

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP1	912,37	20,70	367,89
CP2	913,15	20,90	367,75
CP3	914,61	20,70	369,57
CP4	913,82	20,30	370,25
CP5	914,45	20,00	369,07
Média	913,68	20,52	368,91
Desvio Padrão	0,83	0,32	0,96

A Figura 20 mostra a relação de tensão versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 100% de polipropileno

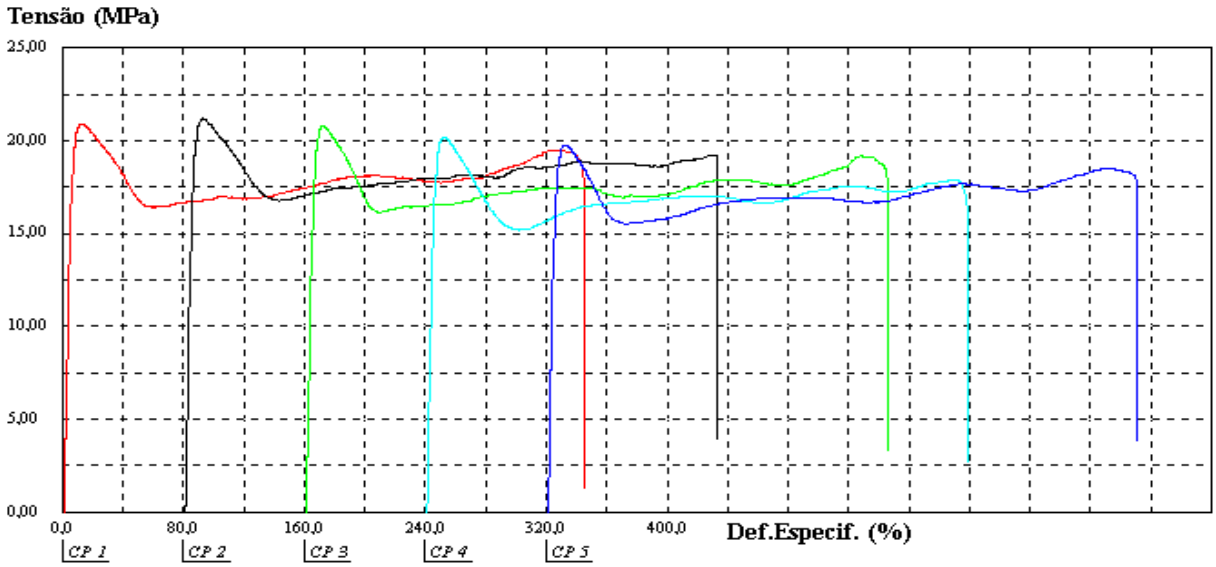

FIGURA 20. Gráfico tensão x deformação para formulação F_1 (100% de PP).

A Tabela 14 apresenta os valores experimentais obtidos para a resistência à tração, referentes à incorporação de HIPS pós-consumo em PP. Os valores representados são atribuídos a cinco corpos de prova com 90% de PP e 10% de HIPS pós-consumo, com uma força máxima de 885,03N, uma tensão média de 20,14 MPa e de 189,67% de alongamento médio na ruptura.

TABELA 14. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_2

Máquina: **Emic DL 10000** Célula: **Trd 25** Data: **21/02/2005**
Método de Ensaio: **Tração CP (limite 500Kgf)** Material: **90% PP + 10% HIPS**

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP1	884,26	20,30	190,03
CP2	885,15	19,90	188,53
CP3	884,33	20,00	190,89
CP4	886,07	20,23	188,75
CP5	885,35	20,29	190,14
Média	885,03	20,14	189,67
Desvio Padrão	0,68	0,16	0,89

A Figura 21 mostra a relação de tensão versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 10% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 90% de polipropileno.

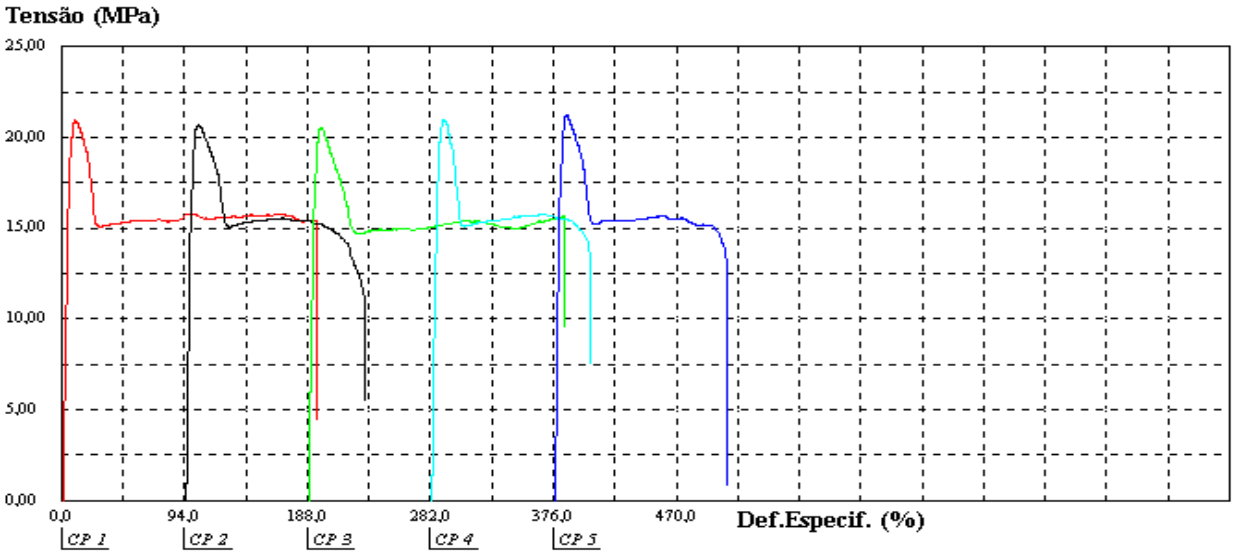

FIGURA 21. Gráfico tensão x deformação para formulação F_2 (90% de PP e 10% de PS).

A Tabela 15 apresenta os valores experimentais obtidos para a resistência à tração, referentes à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores representados são atribuídos a cinco corpos de prova com 80% de polipropileno e 20% de poliestireno de alto impacto pós-consumo, com uma força máxima de 891,99N, uma tensão média de 20,22MPa e de 54,72% de alongamento médio na ruptura, com desvio padrão de 0,71, 0,17 e 0,88 respectivamente.

TABELA 15. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_3

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **21/02/2005**
Método de Ensaio: **Tração CP (limite 500Kgf)** Material: **80% PP + 20% HIPS**
Célula de carga: **Trd 25**

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP1	893,27	20,30	53,71
CP2	892,12	20,50	55,78
CP3	891,33	20,10	55,41
CP4	891,90	20,20	55,06
CP5	891,34	20,01	53,64
Média	891,99	20,22	54,72
Desvio Padrão	0,71	0,17	0,88

A Figura 22 mostra a relação de tensão versus deformação referente à incorporação de HIPS pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 20% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 80% de polipropileno.

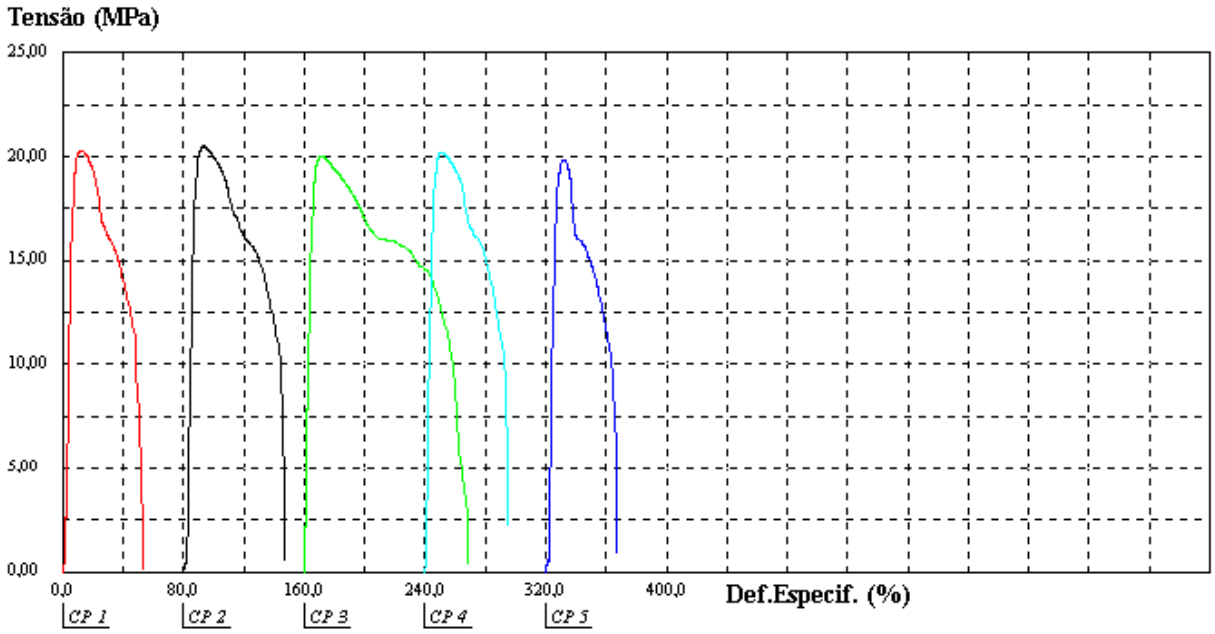

FIGURA 22. Gráfico tensão x deformação para formulação F_3 (80% de PP e 20% de PS).

A Tabela 16 apresenta os valores experimentais obtidos para a resistência à tração, referentes à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores representados são atribuídos a cinco corpos de prova com 70% de polipropileno e 30% de poliestireno de alto impacto pós-consumo, com uma força máxima de 896,99N, uma tensão média de 20,44MPa e de 53,85% de alongamento médio na ruptura, com desvio padrão de 0,82, 0,05 e 0,89 respectivamente.

TABELA 16. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_4

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **21/02/2005**
Método de Ensaio: **Tração CP (limite 500Kgf)** Material: **70% PP + 30% HIPS**
Célula de carga: **Trd 25**

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP1	896,45	20,40	53,08
CP2	896,04	20,50	54,98
CP3	896,74	20,50	54,89
CP4	898,40	20,40	53,01
CP5	897,32	20,40	53,27
Média	896,99	20,44	53,85
Desvio Padrão	0,82	0,05	0,89

A Figura 23 mostra a relação de tensão versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 30% de HIPS pós-consumo e 70% de polipropileno.

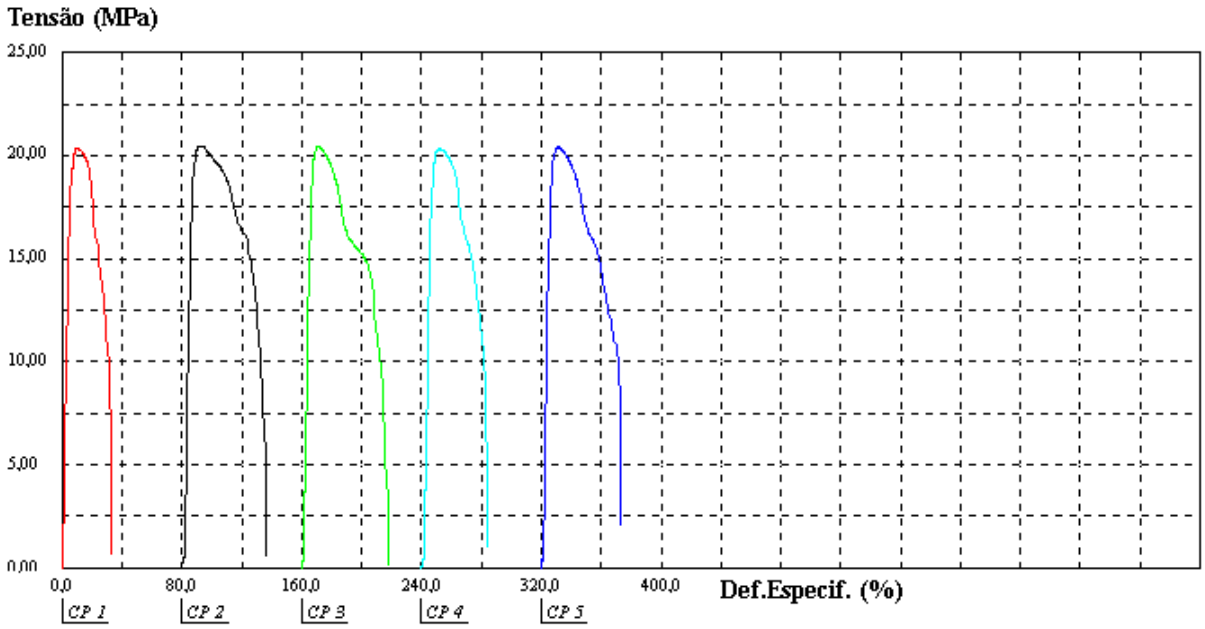

FIGURA 23. Gráfico tensão x deformação para formulação F_4 (70% de PP e 30% de PS).

A Tabela 17 apresenta os valores experimentais obtidos para a resistência à tração, referentes à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores representados são atribuídos a cinco corpos de prova com 50% de polipropileno e 50% de poliestireno de alto impacto pós-consumo, com uma força máxima de 914,89N, uma tensão média de 20,73MPa e de 12,46% de alongamento médio na ruptura, com desvio padrão de 0,98, 0,19 e 0,62 respectivamente.

TABELA 17. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_5

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **21/02/2005**
Método de Ensaio: **Tração CP (limite 500Kgf)** Material: **50% PP + 50% HIPS**
Célula de carga: **Trd**
25

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP1	913,30	20,90	12,54
CP2	915,89	20,89	12,93
CP3	914,35	20,50	11,86
CP4	915,02	20,50	13,31
CP5	915,88	20,86	11,66
Média	914,89	20,73	12,46
Desvio Padrão	0,98	0,19	0,62

A Figura 24 mostra a relação de tensão versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 50% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 50% de polipropileno.

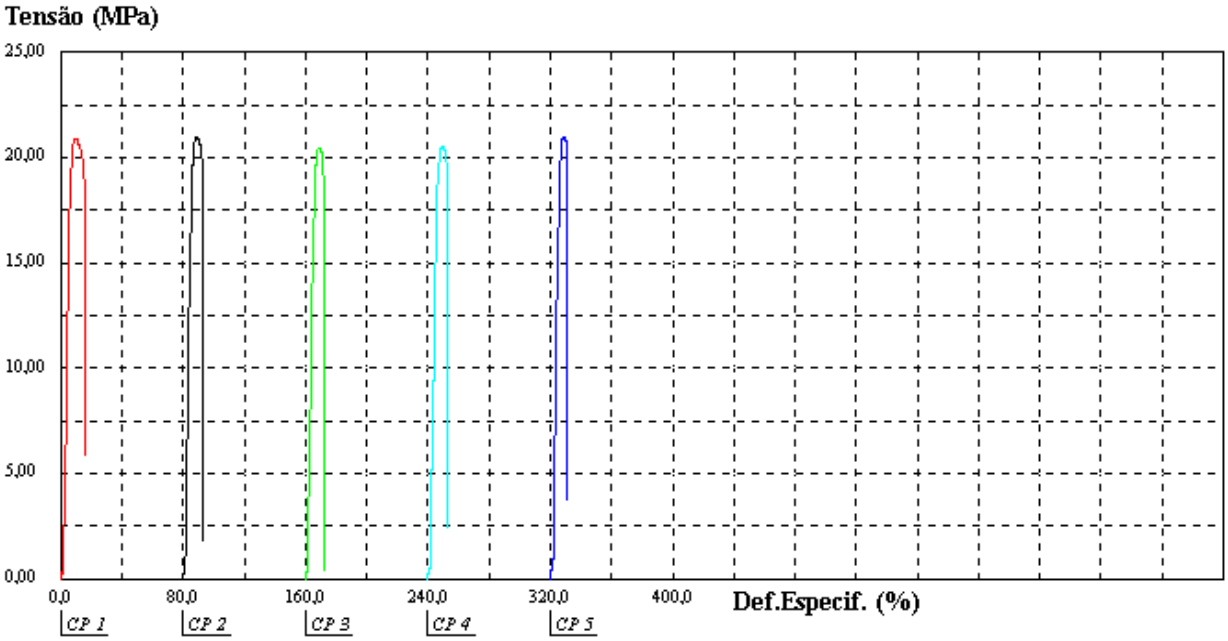

FIGURA 24. Gráfico tensão x deformação para formulação F_5 (50% de PP e 50% de PS).

A Tabela 18 apresenta os valores experimentais obtidos para a resistência à tração, referentes à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores representados são atribuídos a cinco corpos de prova com 30% de polipropileno e 70% de poliestireno de alto impacto pós-consumo, com uma força máxima de 931,12N, uma tensão média de 20,77MPa e de 7,16% de alongamento médio na ruptura, com desvio padrão de 0,82, 0,16 e 0,26 respectivamente.

TABELA 18. Resultados experimentais da resistência à tração para formulação F_6

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **21/02/2005**
Método de Ensaio: **Tração CP (limite 500Kgf)** Material:3**0% PP + 70% HIPS**
Célula de carga: **Trd 25**

Corpo de Prova	Força Máxima (N)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP1	931,25	20,70	7,04
CP2	932,45	20,89	7,69
CP3	931,00	20,85	7,04
CP4	929,89	20,93	7,04
CP5	931,02	20,50	7,01
Média	931,12	20,77	7,16
Desvio Padrão	0,82	0,16	0,26

A Figura 25 mostra a relação de tensão versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 70% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 30% de polipropileno.

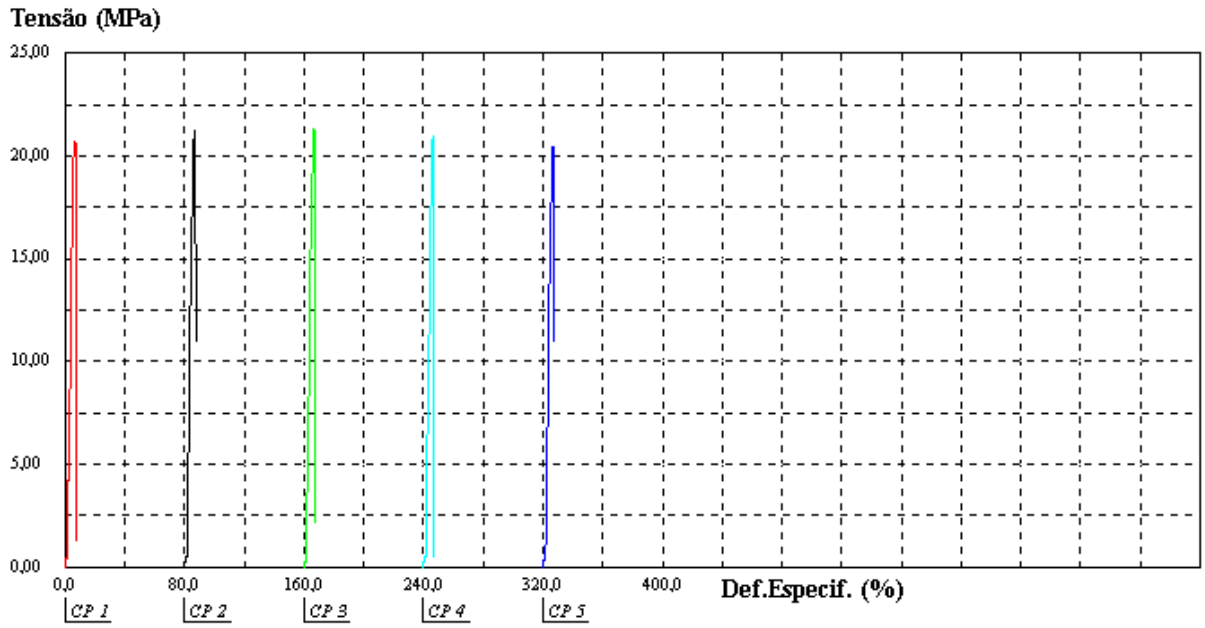

FIGURA 25. Gráfico tensão x deformação para formulação F_6 (30% de PP e 70% de PS).

A Figura 26 apresenta os resultados experimentais médios da tensão na ruptura em função das formulações. A curva expressa a tensão média em função da variação no teor de poliestireno alto impacto pós-consumo incorporado no polipropileno virgem.

Pode-se observar que a tensão na ruptura, em função da incorporação de HIPS pós-consumo, apresenta uma variação pouco significativa em relação à formulação F1 que é produzida apenas com polipropileno virgem.

As formulações com HIPS apresentaram resultados satisfatórios para o caso da tensão na ruptura, que é semelhante às tensões de PP virgem.

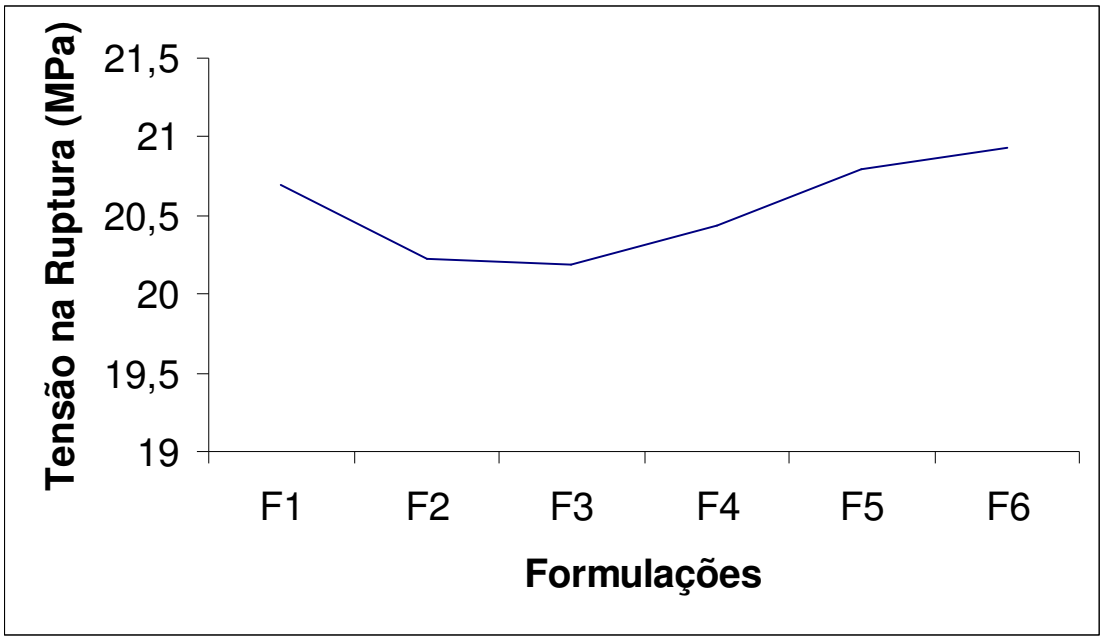

FIGURA 26 - Gráfico tensão média na ruptura em função do teor de HIPS.

A Figura 27 apresenta os resultados experimentais médios do alongamento na ruptura em função das formulações. A curva apresenta a variação do alongamento em função do teor de poliestireno alto impacto pós-consumo incorporado no polipropileno virgem. Ao contrário da tensão na ruptura, verifica-se que no alongamento ocorre uma variação significativa no momento da ruptura, em relação à formulação F_1.

Houve uma queda pronunciada no alongamento na ruptura, de 370% no material PP 100% virgem, para 7% na formulação F_6 (70% HIPS pós-consumo e 30% PP virgem).

A perda das propriedades elastoméricas do material, como alongamento, pode ser explicada pela reação de cisão das cadeias grafitizadas (ISRAELI, 1994).

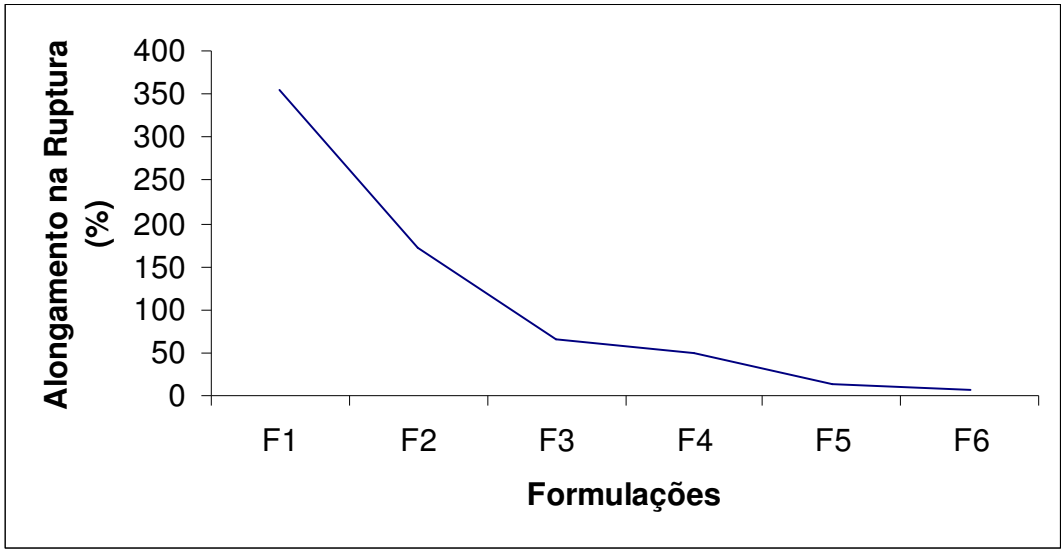

FIGURA 27. Gráfico alongamento médio na ruptura para as formulações.

4.2 Resistência a Flexão

A Tabela 19 apresenta os resultados experimentais da deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores são referentes a cinco corpos de prova com 100% de polipropileno. Para uma deformação limite de 20mm, foi encontrado uma força máxima média de 51,02 N e deformação na força máxima média de 16,17mm, apresentando desvio padrão de 0,48 e 0,25 respectivamente.

TABELA 19. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_1

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **09/06/2005**
Método de Ensaio: **Compressão** Material: **100% PP**
Célula de carga: **Trd 22**

Corpo de Prova	Deformação Limite (mm)	Força Máxima (N)	Deformação na Força Máxima (mm)
CP1	20,00	51,53	15,80
CP2	20,00	51,04	16,00
CP3	20,00	50,46	16,49
CP4	20,00	50,50	16,21
CP5	20,00	51,59	16,35
Média	20,00	51,02	16,17
Desvio Padrão	0,00	0,48	0,25

A Figura 28 mostra a relação de força versus deformação referente à incorporação de poliestireno de alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 100% de polipropileno.

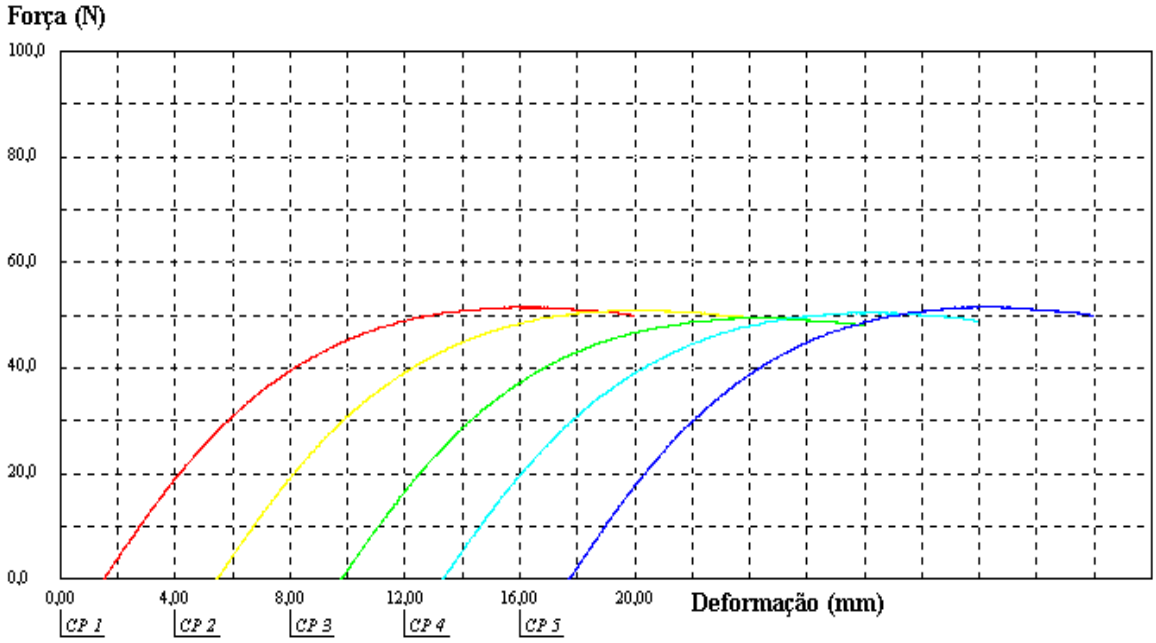

FIGURA 28. Determinação da flexão para formulação F_1 (100% de PP).

A Tabela 20 apresenta os resultados experimentais referentes a cinco corpos de prova com 90% de PP e 10% de HIPS pós-consumo. Para uma deformação limite de 20mm, foi encontrado uma força máxima média de 53,02 N e deformação na força máxima média de 16,13mm.

TABELA 20. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_2

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **09/06/2005**
Método de Ensaio: **Compressão** Material: **90% PP + 10% HIPS**
Célula de carga: **Trd 22**

Corpo de Prova	Deformação Limite (mm)	Força Máxima (N)	Deformação na Força Máxima (mm)
CP1	20,00	53,41	15,59
CP2	20,00	52,56	15,92
CP3	20,00	52,23	15,90
CP4	20,00	53,44	16,67
CP5	20,00	53,48	16,58
Média	20,00	53,02	16,13
Desvio Padrão	0,00	0,52	0,42

A Figura 29 mostra a relação de força versus deformação referentes a cinco corpos de prova com 10% de HIPS pós-consumo e 90% de PP.

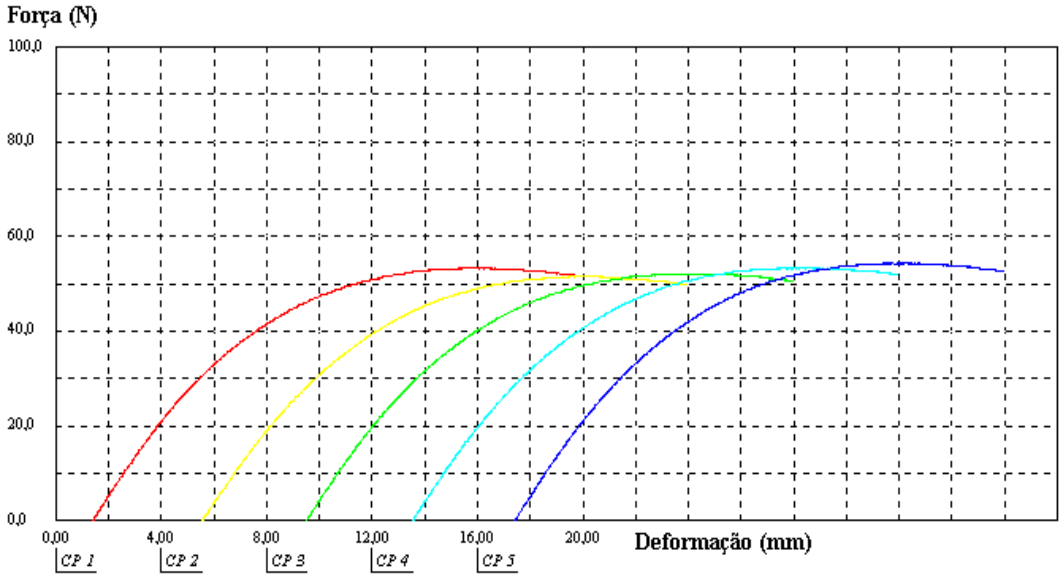

FIGURA 29. Determinação da flexão para formulação F_2 (90% de PP e 10% de HIPS).

A Tabela 21 apresenta os resultados experimentais da deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores são referentes a cinco corpos de prova com 80% de polipropileno e 20% de HIPS pós-consumo . Para uma deformação limite de 20mm, foi encontrado uma força máxima média de 54,65 N e deformação na força máxima média de 15,93mm, apresentando desvio padrão de 0,39 e 0,23 respectivamente.

TABELA 21. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_3

Máquina: **Emic DL 10000** Célula: **Trd 22** Data: **09/06/2005**
Método de Ensaio: **Compressão** Material: **80% PP + 20% HIPS**
Célula de carga: **Trd 22**

Corpo de Prova	Deformação Limite (mm)	Força Máxima (N)	Deformação na Força Máxima (mm)
CP1	20,00	54,45	15,96
CP2	20,00	54,69	15,75
CP3	20,00	54,05	16,36
CP4	20,00	54,87	15,85
CP5	20,00	55,21	15,72
Média	20,00	54,65	15,93
Desvio Padrão	0,00	0,39	0,23

A Figura 30 mostra a relação de força versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 20% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 80% de polipropileno.

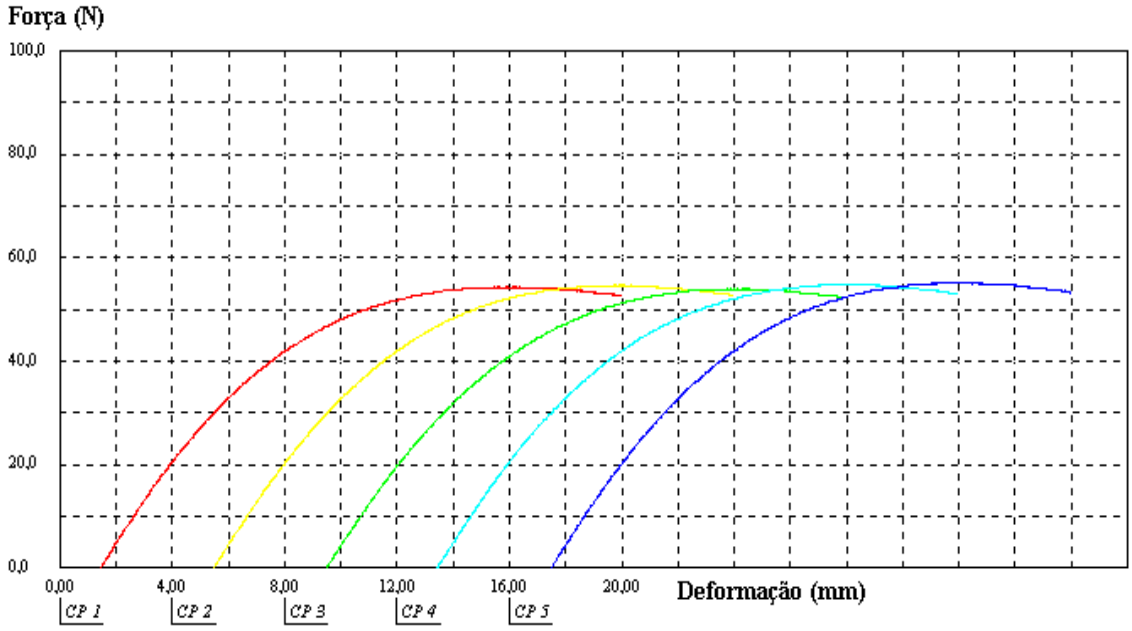

FIGURA 30. Determinação da flexão para formulação F_3 (80% de PP e 20% de HIPS).

A Tabela 22 apresenta os resultados experimentais referentes a cinco corpos de prova com 70% de PP e 30% de HIPS pós-consumo . Para uma deformação limite de 20mm, foi encontrado uma força máxima média de 56,75 N e deformação na força máxima média de 15,77mm.

TABELA 22. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_4

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **09/06/2005**
Método de Ensaio: **Compressão** Material: **70% PP + 30% HIPS**
Célula de carga: **Trd 22**

Corpo de Prova	Espessura (mm)	Deformação Limite (mm)	Força Máxima (N)	Deformação na Força Máxima (mm)
CP1	4,20	20,00	56,91	15,82
CP2	4,20	20,00	56,60	16,28
CP3	4,20	20,00	56,73	15,75
CP4	4,20	20,00	56,64	15,61
CP5	4,20	20,00	56,88	15,37
Média	4,20	20,00	56,75	15,77
Desvio Padrão	0,00	0,00	0,12	0,30

A Figura 31 mostra a relação de força versus deformação referente à incorporação de HIPS pós-consumo em PP. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 30% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 70% de polipropileno.

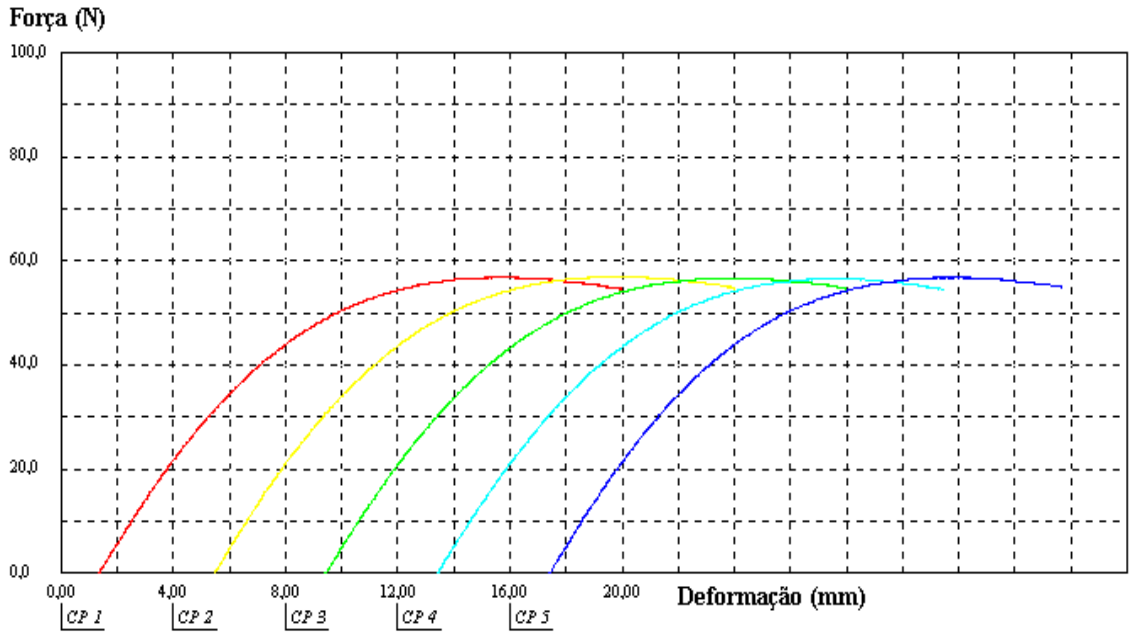

FIGURA 31. Determinação da flexão para formulação F_4 (70% de PP e 30% de HIPS).

A Tabela 23 apresenta os resultados experimentais da deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores são referentes a cinco corpos de prova com 50% de polipropileno e 50% de HIPS pós-consumo . Para uma deformação limite de 20mm, foi encontrado uma força máxima média de 56,82 N e deformação na força máxima média de 14,75mm, apresentando desvio padrão de 0,04 e 0,45 respectivamente.

TABELA 23. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_5

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **09/06/2005**
Método de Ensaio: **Compressão** Material: **50% PP + 50% HIPS**
Célula de carga: **Trd 22**

Corpo de Prova	Deformação Limite (mm)	Força Máxima (N)	Deformação na Força Máxima (mm)
CP1	20,00	56,76	14,31
CP2	20,00	56,87	15,24
CP3	20,00	56,85	14,11
CP4	20,00	56,79	15,05
CP5	20,00	56,83	15,03
Média	20,00	56,82	14,75
Desvio Padrão	0,00	0,04	0,45

A Figura 32 mostra a relação de força versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 50% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 50% de polipropileno.

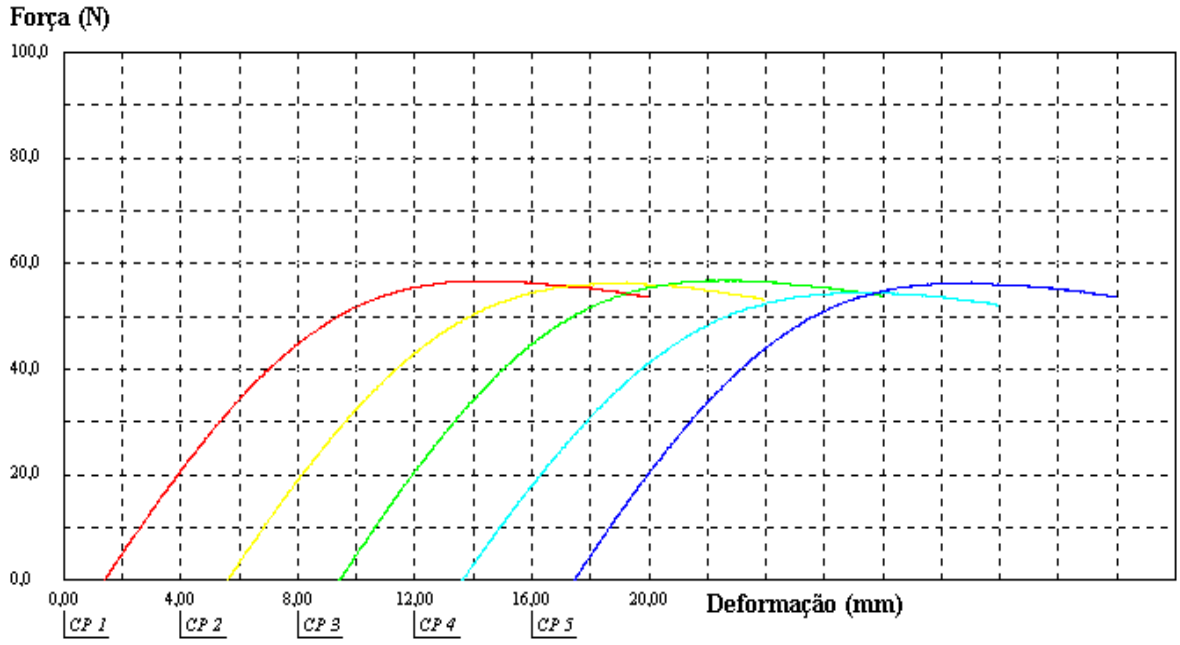

FIGURA 32. Determinação da flexão para formulação F_5 (50% de PP e 50% de HIPS).

A Tabela 24 apresenta os resultados experimentais da deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Os valores são referentes a cinco corpos de prova com 30% de polipropileno e 70% de HIPS pós-consumo . Para uma deformação limite de 20mm, foi encontrado uma força máxima média de 61,21 N e deformação na força máxima média de 15,11mm, apresentando desvio padrão de 0,20 e 0,38 respectivamente.

TABELA 24. Resultados experimentais da resistência à flexão para formulação F_6

Máquina: **Emic DL 10000** Data: **09/06/2005**
Método de Ensaio: **Compressão** Material: **30% PP + 70% HIPS**
Célula de carga: **Trd 22**

Corpo de Prova	Deformação Limite (mm)	Força Máxima (N)	Deformação na Força Máxima (mm)
CP1	20,00	60,89	14,90
CP2	20,00	61,23	14,80
CP3	20,00	61,51	14,96
CP4	20,00	61,17	15,85
CP5	20,00	61,25	15,03
Média	20,00	61,21	15,11
Desvio Padrão	0,00	0,20	0,38

A Figura 33 mostra a relação de força versus deformação referente à incorporação de poliestireno alto impacto pós-consumo em polipropileno. Neste gráfico estão representadas as curvas referentes a cinco corpos de prova com 70% de poliestireno de alto impacto pós-consumo e 30% de polipropileno.

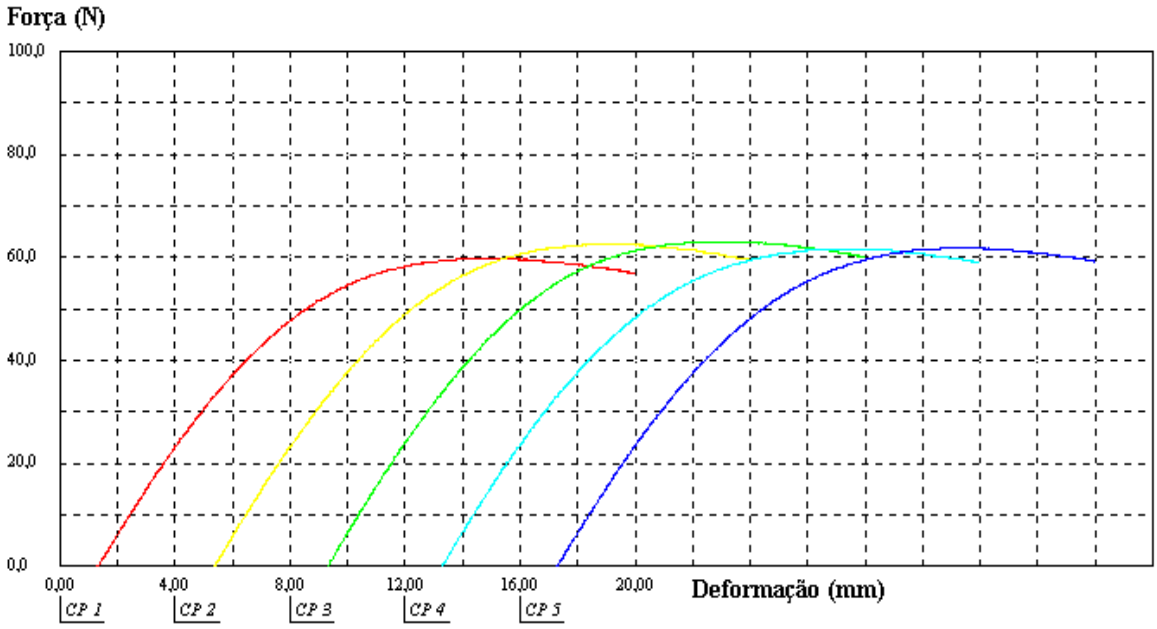

FIGURA 33. Determinação da flexão para formulação F_6 (30% de PP e 70% de HIPS).

Os valores apresentados nas tabelas e as curvas mostradas nas figuras são referentes a resistência à flexão para uma deformação limite de 20mm. Segundo o que se pode observar ocorreu uma variação positiva de aproximadamente 16% na força máxima em função da incorporação de HIPS pós-consumo no PP virgem.

Também foi observado que a deformação na força máxima para todas as formulações não sofreu alterações significativas, variando em torno de 15,5 mm. Embora o material tenha ficado mais rígido com o acréscimo de HIPS não houve rompimento de nenhum dos corpos-de-prova das formulações apresentadas.

4.3 Resistência ao impacto

As fraturas produzidas por impacto podem ser frágeis ou dúcteis. As fraturas frágeis caracterizam-se pelo aspecto cristalino e as fraturas dúcteis apresentam aparência fibrosa. Os materiais frágeis rompem-se sem nenhuma deformação plástica, de forma repentina.

Na Tabela 25 e na Figura 34 são mostradas as variações da resistência ao impacto com o incremento da concentração de poliestireno de alto impacto pós-consumo na blenda com polipropileno virgem. Nota-se que à medida que aumenta o teor de poliestireno de alto impacto pós-consumo na formulação, ocorreu uma diminuição na resistência ao impacto.

TABELA 25. Resistência ao Impacto das formulações pelo método Charpy

Formulações	Amostras					Média (J/m)	Variação em relação a F_1 (%)	Tipo de Fratura
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5			
F1	190,08	190,08	193,52	190,08	190,08	190,77	-	Dúctil
F2	165,92	172,80	190,08	188,32	176,24	178,67	- 6,3	Dúctil
F3	158,96	162,40	155,52	158,96	158,96	158,96	- 16,7	Dúctil
F4	155,52	155,52	155,52	155,52	162,40	156,90	- 17,8	Dúctil
F5	138,24	138,24	138,24	138,24	138,24	138,24	- 27,5	Frágil
F6	138,24	136,32	138,24	138,24	138,24	137,86	- 27,7	Frágil

Através da Tabela 25, verifica-se que houve uma variação negativa de 27,5% significativa na resistência ao impacto, a fim de alterar o tipo de fratura do material passando de fratura dúctil para fratura frágil.

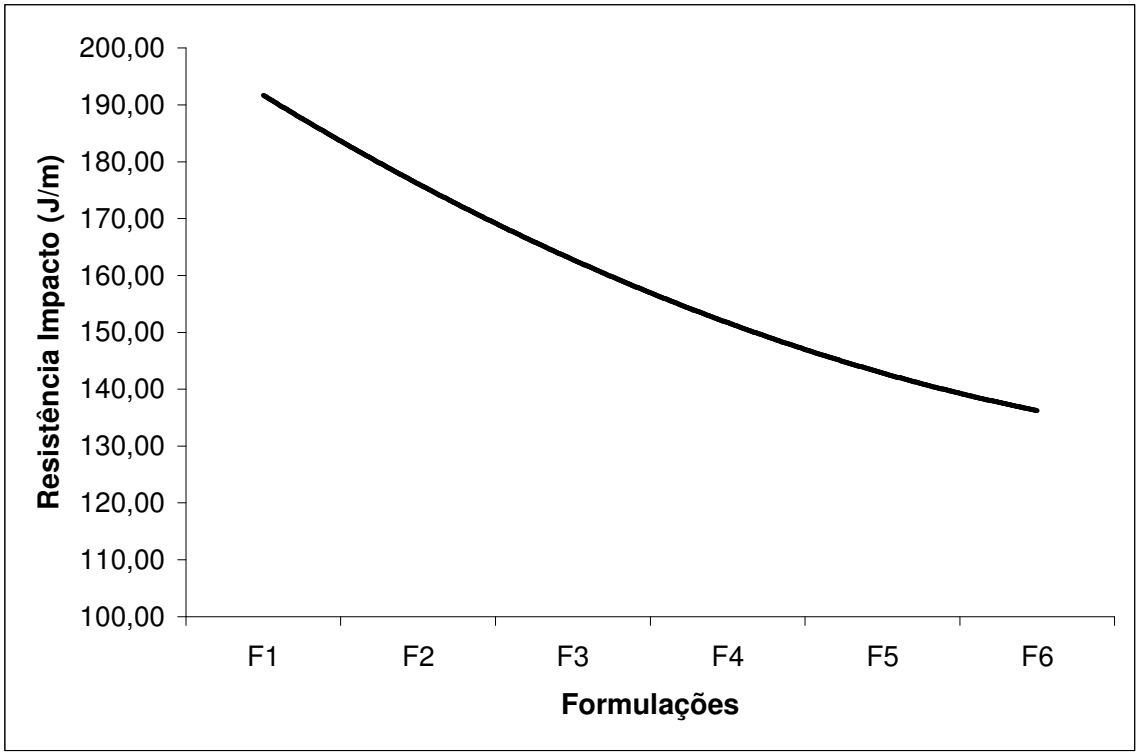

FIGURA 34. Resistência ao impacto em função do teor de HIPS.

Nota-se que houve uma queda na resistência ao impacto do material em relação ao PP virgem, passando de 190 J/m para 137 J/m, apresentando uma variação negativa de aproximadamente 27%. Mesmo assim, com a perda na resistência devido a incorporação de HIPS, esta é suficiente para a construção de produtos com relativa resistência ao impacto.

Conforme ocorre o incremento de HIPS pós-consumo nas formulações, pode-se observar que o material vai ficando mais rígido, portanto mais frágil e menos resistente ao impacto.

Também foi observado que houve uma mudança no tipo de ruptura passando de dúctil para frágil a partir da formulação F_5.

4.4 Dureza Shore

Os resultados obtidos para a dureza das formulações se encontram na Tabela 26, com a curva de variação representada na Figura 35. Houve uma pequena variação de dureza, com variação aproximada de 6% em relação ao PP 100% virgem, aumentando de 61,47 para 65,20 Shore D.

TABELA 26. Dureza Shore da blenda HIPS pós-consumo e PP

Formulações	Amostras					Média	Variação em relação a F_1 (%)
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5		
F_1	61	61	61	61	61	61,47	-
	62	63	62	62	62		
	61	62	61	61	61		
F_2	61	62	62	62	61	61,53	+ 0,09
	62	61	63	62	61		
	61	61	61	62	61		
F_3	61	62	64	63	63	62,27	+ 1,28
	60	62	62	64	62		
	60	64	63	63	61		
F_4	62	63	63	64	64	63,13	+ 2,63
	62	64	62	63	65		
	64	64	62	63	62		
F_5	64	66	64	64	65	64,47	+ 4,65
	65	65	65	65	64		
	64	65	62	65	64		
F_6	65	66	65	64	66	65,20	+ 5,72
	65	65	66	64	66		
	66	65	65	65	65		

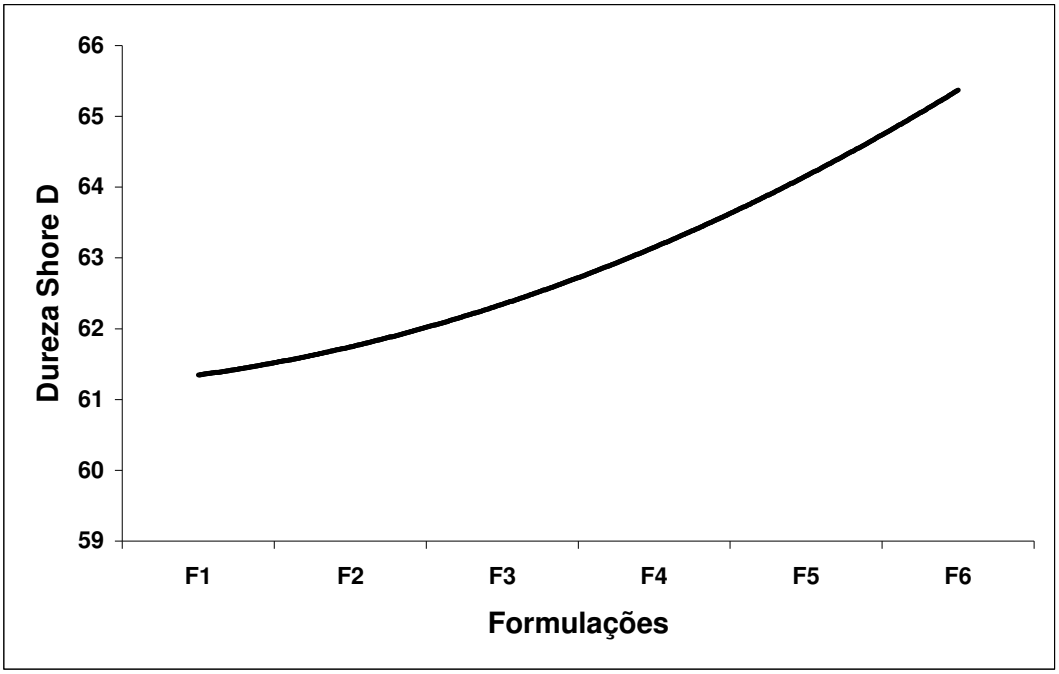

FIGURA 35. Dureza em função do teor de HIPS.

Observou-se que conforme se aumenta o percentual de HIPS pós-consumo nas formulações, progressivamente estas vão ficando mais duras. Isto é uma indicação de que pode ter ocorrido reticulação das cadeias poliméricas do HIPS pós-consumo, tornando o material mais rígido.

4.5 Densidade relativa

Na Tabela 27 e na Figura 36 são mostrados a variação da densidade relativa em função do incremento de HIPS no polipropileno virgem. Nota-se que à medida que aumentou o teor de poliestireno alto impacto pós-consumo na formulação, aumentou também a densidade. Através do referida Tabela 27, verifica-se que embora houve variação na densidade de no máximo 4%, esta não é significativa a fim de alterar processamento da formulação.

TABELA 27. Densidade relativa das formulações

Formulações	Amostras					Média (g/m^3)	Variação em relação a F_1 (%)
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5		
F_1	1,014	1,013	1,014	1,014	1,016	**1,014**	-
F_2	1,015	1,015	1,017	1,016	1,017	**1,016**	+ 0,2
F_3	1,021	1,019	1,019	1,019	1,021	**1,019**	+ 0,5
F_4	1,023	1,023	1,025	1,025	1,025	**1,024**	+ 1,0
F_5	1,039	1,038	1,045	1,041	1,039	**1,040**	+ 2,5
F_6	1,053	1,061	1,056	1,059	1,053	**1,056**	+ 4,0

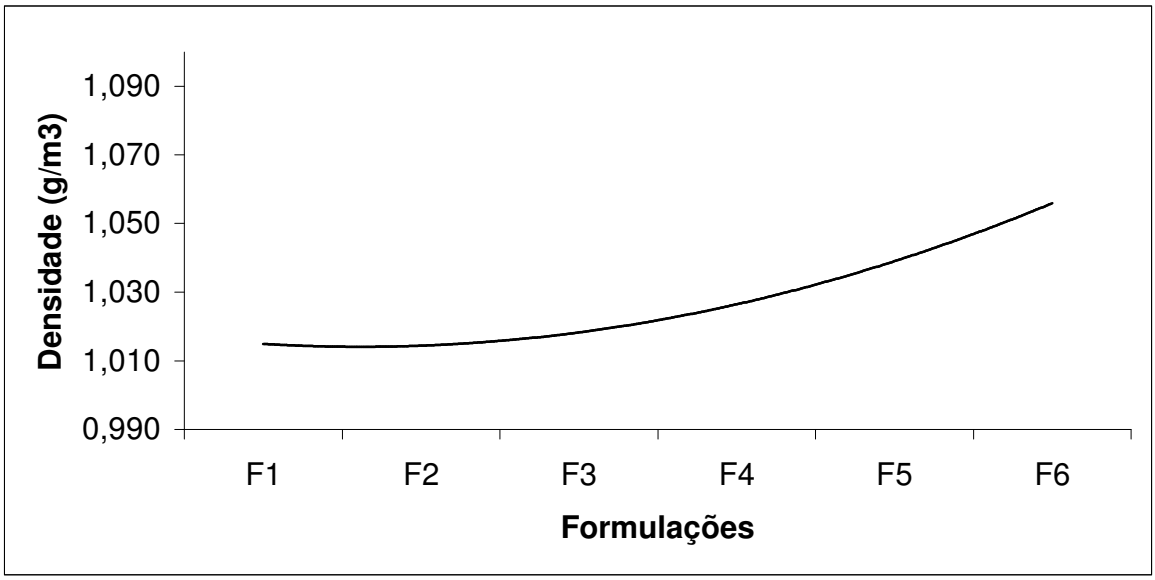

FIGURA 36. Densidade Relativa

Observou-se que os valores obtidos não apresentaram variação significativa em relação à densidade relativa apresentada na formulação processada F_1.

4.6 Aplicação em produto

As formulações de PP/HIPS reciclado pós-consumo foram aplicadas em produtos e analisadas quanto aos seus desempenhos. Os produtos utilizados para os ensaios foram os seguintes:

- Conjunto de brinquedos de encaixe.
- Pote para ração animal doméstico.

Interessante realizar o ensaio nestes produtos, pois existe uma diferença significante nas geometrias e dimensões dos mesmos, enquanto um tem formas arredondadas e com espessura considerável o outro tem espessura relativamente pequena e ângulos retos concentrando tensões nestes pontos.

As formulações utilizadas para a aplicação nos produtos foram as seguintes: F_2, F_3, F_4, F_5 e F_6. A formulação F_1 não foi utilizada, pois é composta apenas por polipropileno virgem e a intenção do ensaio foi verificar o comportamento das formulações no processamento de fabricação por injeção e as características do produto acabado.

4.6.1 Conjunto de brinquedos de encaixe:

FIGURA 37. Brinquedos de encaixe

FIGURA 38. Kit brinquedo

FIGURA 39. Brinquedo com F_5.

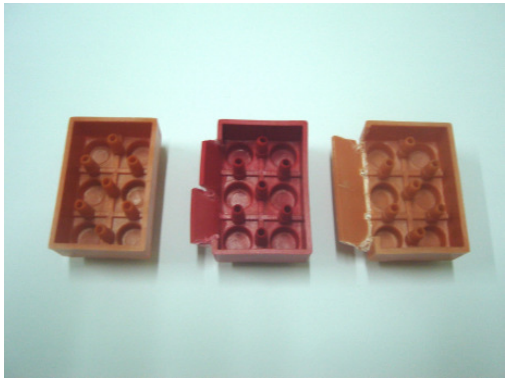

FIGURA 40. Brinquedo com F_6.

A Figura 37 mostra os brinquedos de encaixe que somente foram possíveis de produzir com as formulações F_2, F_3 e F_4, das formulações propostas. Este produto tem espessura de parede inferior a 2mm e, portanto com o aumento de concentração de HIPS reciclado pós-consumo na formulação, as paredes tendem a ficarem frágeis conforme mostrado nas Figuras 39 e 40, para as formulações de F_5 e F_6 respectivamente.

A Figura 38 mostra o kit de brinquedos de encaixe que foi produzido a partir da formulação F_4, que melhor desempenho obteve tanto no processamento, quanto a qualidade do produto e que são doados pela instituição às crianças carentes da região em datas comemorativas.

4.6.2 Pote para ração animal doméstico:

FIGURA 41. Pote de ração com F_2.

FIGURA 42. Pote de ração com F_3.

FIGURA 43. Pote de ração com F_4.

FIGURA 44. Pote de ração com F_5.

FIGURA 45. Pote de ração com F_6.

As Figuras de 41 a 45 mostram que foi possível produzir o pote de ração animal com todas as formulações propostas. A qualidade do produto ficou bastante satisfatória, pois este produto como mencionado anteriormente tem geometria de forma arredondada, paredes com espessura considerável e isto favorece as formulações, tanto na qualidade, quanto no processamento em máquina. Além disso, o produto não é tão exigido quanto à sua resistência mecânica no seu uso.

5 - CONCLUSÃO

A análise dos resultados obtidos neste trabalho permitiu as seguintes conclusões:

- A recuperação de HIPS pós-consumo oriundos de copos descartáveis é viável, pois o crescente aumento no uso de descartáveis plásticos proporciona a disponibilidade de matéria-prima e regularmente.
- As formulações são perfeitamente utilizáveis para determinados produtos, onde o esforço mecânico não é tão exigido.
- Houve uma queda pronunciada no alongamento na ruptura, de 368,00% no material PP 100% virgem, para 7,00% na formulação F_6 (70% HIPS pós-consumo e 30% PP virgem).
- Já na formulação F_2 houve uma queda acentuada no alongamento na ruptura de 50%, onde o percentual de HIPS pós-consumo é de apenas 10% na formulação.
- O fato da redução drástica no alongamento é atribuída aos segmentos butadiênicos presentes na estrutura do HIPS. Estes são responsáveis pelo aumento da resistência à fratura do material, tornando-o menos rígido.
- A adição de um emulsificante (aditivo) poderia acentuar a interação entre os contornos de grãos, melhorando a resistência à tração, impacto e também o alongamento.
- A perda das propriedades elastoméricas do material, como alongamento, pode ser explicada pela reação de cisão das cadeias grafitizadas (ISRAELI,1994).
- O baixo alongamento e propriedades insatisfatórias de resistência ao impacto estão relacionadas à má transferência das forças entre as fases da mistura imiscível. Como a imiscibilidade está relacionada a fracas interações a nível molecular, é de se esperar que as forças de adesão entre as fases sejam muito precárias nessas misturas, e causem falhas prematuras, sob tensão.

- O processamento tem grande papel na distribuição das fases e nas propriedades das misturas poliméricas imiscíveis.
- Os valores de tensão mantiveram-se praticamente constantes em média de 20MPa em relação à F_1 (100% PP virgem), permitindo que os corpos-de-prova de todas as formulações atingissem o ponto de escoamento. Este comportamento vem confirmar que houve uma boa homogeneização nas misturas de PP e HIPS pós-consumo durante o processamento.
- Houve uma queda na resistência ao impacto do material em relação ao PP virgem, apresentando uma variação negativa de aproximadamente 27%. Também foi observado que houve uma mudança no tipo de ruptura passando de dúctil para frágil a partir da formulação F_5.
- Para os resultados obtidos para a dureza houve um leve endurecimento, com variação aproximada de 6% em relação ao PP 100% virgem, aumentando aproximadamente de 61,5 para 65,2 Shore D.
- Observou-se que conforme vai aumentando o percentual de HIPS pós-consumo nas formulações, progressivamente estas vão ficando mais duras. Isto é uma indicação de que pode ter ocorrido reticulação das cadeias poliméricas do HIPS pós-consumo, tornando o material mais rígido.
- Observou-se que os valores obtidos para a densidade relativa não apresentaram variação significativa em relação à densidade relativa apresentada na formulação processada F_1 (100% PP).
- Para a resistência à flexão para uma deformação limite de 20mm, ocorreu uma variação positiva na força máxima em função da incorporação de HIPS pós-consumo no PP virgem

de 16,6%. Também foi observado que a deformação na força máxima para todas as formulações não sofreu alterações significativas, variando em torno de 15,5 mm. Embora o material tenha ficado mais rígido com o acréscimo de HIPS não houve rompimento de nenhum dos corpos-de-prova das formulações apresentadas.

- A reciclagem mecânica é uma solução para os problemas dos resíduos sólidos, principalmente dos resíduos plásticos, oriundos dos descartáveis. É importante ter conhecimento tecnológico dos materiais a serem processados, dos equipamentos, de um mercado que absorva produtos reciclados e incentivos por parte do governo nas questões fiscais. Uma separação eficiente é decisiva na qualidade do reciclado.

5.1 - Sugestões para trabalhos futuros

- Determinação da cristalinidade da blenda PP e HIPS pós-consumo, através de difração de raios-X (X-ray diffraction), difração de elétrons (electron diffraction), calorimetria diferencial de varredura (diffrential scanning calorimetry-DSC) e/ou espectrometria no infravermelho (infrared spectrometry-IR);
- Análise das propriedades mecânicas de blendas de HIPS pós-consumo com outras matérias-primas virgens;
- Análise das propriedades mecânicas de blendas de HIPS pós-consumo com matérias-primas recicladas;
- Avaliação do impacto da reciclagem de materiais plásticos no meio ambiente;
- Avaliação do consumo de materiais plásticos reciclados (quantidade e tipo) pelas indústrias transformadoras do estado;
- Determinar as propriedades mecânicas da blenda PP e HIPS pós-consumo, aditivada com diferentes percentuais de estireno butadieno-SBR;
- Aplicar em novos produtos as formulações desenvolvidas;
- Analisar diferentes condições de processamento;
- Desenvolver um bom solvente a fim de reciclar a blenda PP e HIPS pós-consumo através dos métodos avançados de reciclagem;
- Verificar o custo beneficio para a utilização de aditivos, como os estabilizantes, compatibilizante e/ou anti UV;
- Estudar as propriedades mecânicas da blenda após envelhecimento, comparando-o com materiais virgens.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPLAST-Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Perfil da Indústria Brasileira de Transformação de Plástico 2005.** Disponível em: http://www.abiplast.com.br. Acesso em : 05 de Maio de 2006.

ALBUQUERQUE, Jorge Artur Cavalcanti. **Planeta Plástico.Tudo que você precisa saber sobre plásticos.** Porto Alegre-RS: Sagra Luzzatto, 2001.

ANDRADE, T. Cristina, et al. **Compêndio de Nomenclatura Macromolecular.** Ed. E-papers, Rio de Janeiro-RJ, 2002.

Anuário da Indústria Química Brasileira – Abiquim 2004/2005, Associação Brasileira da Indústria Química e de Produtos Derivados, São Paulo-SP, 2004.

A RECICLAGEM dos pláticos e o contato com os alimentos. **On line.** Capturado em 20 de mar. 2006. Mensal. Disponível na internet http://www.jorplast.com.br/

ASTM D2240-85 - Standard test methods for durometer hardness of plastics (Shore) In: **Annual Book of Standadr Materials**. V.8.02, p.317-323,1994.

ASTM D256-84 - Standard methods for impact resistance of plastics and electrical insulating materials. In: **Annual Book of Standadr Materials**. V.8.01, p.81-102,1994.

ASTM D1708 93 - Standard test methods for tensile properties of plastics by use of microtensile specimens. In: **Annual Book of Standadr Materials**. V.8.02, p.81-85,1994.

ASTM D792-91 - Standard test methods for density and specific gravity (relative density of plastics by displacement). In: **Annual Book of Standadr Materials**. V.8.01, p.185-188,1994.

ASTM D5033/90. The Development of Stantards Relating to the Proper Use of Recycled Plastics. In: **Annual Book of Standadr Materials** 24-Aug-1990, 3 pages

AUDET, C. e LANGLET, B. Plastics Waste, **Composition, Quantities and Diposal Alternatives em Plastics Waste Management: Disposal, Recycling and Reuse**, editor N. Mustafa, Marcel Dekker, New York, (1993) 141-184.

BAIRD**,** Donal G. and COLLIAS, Dimitris I. **Polymer Processing, Principles and Desing.** New York: John Wiley & Sons, 1998.

BAUMANN, M.H., Reciclagem I: Fatores Econômicos Determinam a Forma de Gerenciamento de Resíduos Plásticos, **Plástico Industrial**, Março (1999), 98-115.

BISHOP, R.B. **Practical Polymerization for Polystyrene.** New York: Cahners, 1971.

BRETAS, Rosário E.S. e D'AVILA, Marcos A. **Reologia de polímeros fundidos.** São Carlos-SP: Editora UFSCar, 2000.

CALDERONI, Sabetai. **Os Bilhões Perdidos no Lixo.** São Paulo: Humanitas Publicações FFLCH/USP, 1997.

CANEVAROLO, Sebastião V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros.** Ed. Artliber, São Paulo-SP, 2002.

CARVALHO, Gláucio de Almeida. **Aspectos tecnológicos e mercadológicos da reciclagem de plásticos descartados de lanchonetes.** Tese de Mestrado, IMA/UFRJ, Rio de Janeiro, 1997.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Reciclagem e Negócios – Plástico Granulado.** CEMPRE, São Paulo, 1998b.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem. CEMPRE Informa**..** CEMPRE, São Paulo, n.42, nov./dez., 1998.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Reciclagem e Negócios – Plástico Granulado**. CEMPRE, São Paulo, n.42, nov./dez., 1998.

CHARRIER, J.M. **Polymeric Materials and Processing**. New York: Hansen Publishers, 1990.

COSTA, Ana Claudia Fernandes. **Os Caminhos dos Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Porto Alegre/RS: Da origem ao Destino Final**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1998.

DOW, Plastics. http://www.plastics.dow.com/plastics/la/port/prod/polystyrene/index.htm, 05/09/2005.

DEMAJOROVIC, Jacques. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos. As novas prioridades.
Empresas. São Paulo, v. 35, n. 3, 1995. p. 88-93.

EHRIG, R.J. **Plastics Recycling, Produtcts and processes.** Barcelona: Hanser, 1992.

EHRIG, R. J., CURRY, M. J. Introduction and History. In: EHRIG, R. J. **Plastics recycling: Products and Processes.** New York: Hanser, 1989. p. 3-16.

ELY, Aloísio. **Economia do Meio Ambiente.** Porto Alegre, RS, FEE, 4 ed., 1990.

FERRAROLI, Francisco. Os plásticos de engenharia no contexto do mercado de termoplásticos: um desafio para vencer. **Revista Polímeros, Ciência e Tecnologia.** São Carlos-SP, n. 1, p.E4-E8, 2003.

FORLIN, Flávio J. and FARIA, José de Assis F. **Considerations About Packing Plastics Recycling.** *Polímeros*. 2002, vol.12, no.1. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282002000100006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 10 de Junho de 2005.

GATALDON, Murialdo Canto. **O segmento plástico sul catarinense: uma abordagem sobre a situação recente à luz da problemática dos clusters e distritos industriais**. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

GAYLORD, N. G., MISHRA, M.K.J. Journal of Polymer Science. Polymer Letters Edition 21 (1983),23-30, N.Y.

HERMANN, A. et al. Estabilização melhora as propriedades do PP reciclado. **Revista Plástico Industrial.** São Paulo-SP, n. 39, p.38-45, 2001.

HIWATASHI, Erica. **O Processo de Reciclagem dos Resíduos Sólidos Inorgânicos Domiciliares em Porto Alegre.** Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre: Universidade Federal do rio Grande do Sul, 1999.

HUANG, Samuel J. Polymer Waste Management – Biodegradation, Incineration and Recycling. In: ALBERTSSON, Ann-Christine, HUANG, Samuel J (ed.). **Degradable Polymers, Recycling, and Plastics Waste Management.** New York: Marcel Dekker, 1995. p. 1-5.

ISRAELI, Y. et al. **Photo and thermoinitiated oxidation of high impact polystyrene – I characterization by FTIR spectroscopy**. Journal Polymer. Science Polymer, v.32, p.485-493,1994.

ISAYEV**,** Avraam I. **Injection and compression Molding Fundamentals.** Akron-OHIO: Marcel Dekker,1987.

JOAQUIM, E.F. Ensaios medem dureza Shore e resistências à tração e flexão – parte III. **Plástico Moderno**, 258/95, p.38-40, Set, 1995.

KAUFMAN, Morris. **Giant Molecules, The technology of plastics, fibers and rubber.** London: Aldus Books London, 1968.

LIEBERAN, R.B. e BARBE, P.C., **"Propylene Polymers**" em Encyclopedia of Polymer Science and Engeneering, 2ª ed., editores H. F. Mark et. Al., John Wiley & Sons, New York, 13 (1987) 464-531.

LUCKMANN, Luciano. **Reciclagem de resíduos de espuma rígida de poliuretano através da incorporação em polímeros termoplásticos, ABS,PSAI e PS.** Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC, Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Matriais-PGCEM, Joinville-SC,2005.

MANO**,** Eloísa Biasotto, OLIVEIRA, C.M.F e BONELLI, C.M.C. Os refugos plásticos e a poluição ambiental. **Jornal do Plástico.** São Paulo-SP, n. 792, p.3, 1991.

MANO, Eloisa B. e BONELLI, Claudia M.C. **A reciclagem de plásticos pós-consumidos**. n. 698, out./dez., 1994, p. 18-22.

MANO**,** Eloísa Biasotto e MENDES, Luis Claudio. **Identificação de Plásticos, Borrachas e Fibras.** São Paulo-SP: Edgard Blücher, 2000.

MANO**,** Eloísa Biasotto e MENDES, Luis Claudio. **Introdução a Polímeros.** São Paulo-SP: Edgard Blücher, 2000.

MANO, Eloísa Biasotto. **Polímeros como materiais de engenharia.** São Paulo-SP: Edgard Blucher,2000.

McCRUM, N.G., BUCKLEY, C.P. and BUCKNALL, C.B. **Principles of polymer Engineering.** New York: Oxford University, 1994.

MONTEIRO, Elizabeth. Et al. **Caracterização de Polímeros.** Rio de Janeiro-RJ: E-papers, 2001.

NAVARRO, Rômulo Feitosa. **Fundamentos de Reologia de Polímeros.** Caxias do Sul-RS: EDUCS, 1997.

NBR 13.230 - Plásticos – Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. **Associação Brasileira de Normas Técnicas**.

OGORKIEWICZ**,** R.M. **Thermoplastic, Properties and Desing.** London: John Wiley & Sons, 1974.

PINTO, Armenio Gomes. Plástico. In: IPT/CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** 1997. p. 181-192.

PLASTIVIDA/ABIQUIM. **Plásticos em foco.** São Paulo, fevereiro, 1997.

PLASTICS Recycling Backgrounder. Capturado em 29 jan. de 2006. Online. Disponível na Internet http://www.pasticsresourse.com/topics/recycling/backgrounders/bk_recycling.html.

PLASVIDA. **Mercado – Principais Conclusões a respeito da Pesquisa de Recicladores.** Capturado em 4 de nov. de 2005. Disponível na Internet http://www.abiquim.org.br/plastivida/mail.htm.

PRIOLEAU, R.M., **Recycling of Polypropylene**, ACS Symp. Series – Plastc, rubber, and Paper Recycling, 609 (1995) 80-88.

RABELLO, Marcelo. **Aditivação de Polímeros**. São Paulo: Art Liber, 2000.

REBELLO, Andréa Novaes. **Influência da degradação na reciclagem de plásticos estirêncios pós-consumo.** Instituto de Macromoléculas Professora Eloísa Mano. UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 1999.

RETO, Maria A. De Sino. PP Projeção de maior consumo gera onda de descargalos. **Revista Plástico Moderno.** São Paulo-SP, n. 356, p.10-18, 2004.

SAMMARCO, Celma e DELFINI, Luciano. Mercado Brasileiro tem Potencial para Ampliar a Reciclagem de Plásticos. **Plástico Industrial.** Mar, 1999, p. 106-119.

SCHLISCHTING, Rodrigo.**Influência da adição de poliestireno expandido no processo de polimerização do estireno em suspensão.** Programa de Pós Graduação em Engenharia Química-CPGENQ.UFSC, Florianópolis-SC, 2003.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental: como ser competitivo protegendo o meio ambiente.** São Paulo, Pioneira, 1995.

VENTURINI, Fábio e BETTEGA, Rafael. Tecnologia e inicativas da indústria impulsionam o reaproveitamento de embalagens multimateriais. **Revista Plástico Industrial.** São Paulo-SP, n. 71, p.114-123, 2004.

WASSERMANN, A.I., ESPINDOLA, L.C e HOLTZ, N. Estudo analisa a processabilidade de materiais plásticos misturados. **Revista Plástico Industrial.** São Paulo-SP, n. 67, p.88-95, 2004.

WIEBECK, Hélio. **Reciclagem do Plástico e suas aplicações industriais.**
USP/SEBRAE SP, São Paulo, maio 1997.

WHITELEY, K.S., HEGGS, T.G., KOCH.H e MAWER, R.L. Polyolefins em Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5ª ed., editores Elvers,B. et al, New York, A21 (1982) 487-577.

WINTERMEYER, R.L, BUZANOWSKI, W.C. **Analytical Methods. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. Johw Wiley & Sons, 16: New York, 1985.

YOKOHAMA,Y., RICCO,T., Journal of Polymer Science. Polymer Letters Edition 39 (1998),3675-3681, NewYork.

YU, L. E SHANKS, R.A., Fillers, **Polypropylene** em The Polymeric Materials encyclopedia, 1996.

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo