

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

ANDERSON DONIZETE ALVES DA ROSA

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA FIBRA DE JUTA COMO MODIFICADORA NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIPROPILENO RECICLADO

São Paulo

2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANDERSON DONIZETE ALVES DA ROSA

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA FIBRA DE JUTA COMO MODIFICADORA NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIPROPILENO RECICLADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional de Engenharia de Materiais da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito para obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Materiais.

ORIENTADOR: PROF. DR. NILSON CASIMIRO PEREIRA

São Paulo

2009

ANDERSON DONIZETE ALVES DA ROSA

ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DA FIBRA DE JUTA COMO MODIFICADORA NAS
PROPRIEDADES MECÂNICAS DO POLIPROPILENO RECICLADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Mestrado Profissional de
Engenharia de Materiais da Universidade
Presbiteriana Mackenzie, como requisito para
obtenção de grau de Mestre em Engenharia de
Materiais.

Aprovado em ____ de _____ de 200_.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Nilson Casimiro Pereira
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dra. Leila Figueiredo de Miranda
Universidade Presbiteriana Mackenzie

Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli
Universidade Federal de São Carlos

A Deus acima de tudo por ter conseguido chegar até aqui.

Aos meus pais e familiares por todo apoio e incentivo nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por permitir que tivesse saúde e disposição para realizar todos os sonhos, dando-me disposição e força quando necessário.

Ao meu orientador e também professor Nilson, o ilustríssimo e “gente boa”, que por horas, muito mais que simplesmente professor e orientador, um amigo o qual se tornou e sempre o será.

À Roberta Duarte, a qual considero muito mais do que minha gerente, sempre me apoiando quando necessário e incentivando nesta jornada. Uma pessoa, resumindo-se a uma frase: “uma irmã que a vida me deu”.

Aos técnicos de Laboratório: Luiz, Cabral, Tales, Sérgio e Liuba, da Engenharia de Materiais, da Universidade Presbiteriana Mackenzie, os quais me socorreram quando precisei sempre dispostos a contribuir para o bom andamento de ensaios durante o trabalho.

À Nova Piramidal Termoplásticos – pelos materiais cedidos e ensaio de índice de fluidez.

Ao Instituto Presbiteriano Mackenzie através do Fundo Mackenzie de Pesquisa – MackPesquisa, o qual possibilitou a exposição do trabalho em Congresso.

RESUMO

A larga escala de produção de plásticos elevou-se para 200 milhões de toneladas no mundo, no ano de 2005. Isso representa um aumento considerável na produções anuais de 9,9%, desde 1950. Uma parte considerável destes polímeros sintéticos, 36% concentrou-se na Ásia e Oceania, seguidas pela Europa e América com 29%. O volume de produção do Oriente Médio e África tiveram uma participação de 6%. Estas matérias-primas são utilizadas por um período de tempo bastante curto e geram um volume de descartes importante. Mesmo com um desenvolvimento considerável de linhas de gestão dos descartes, seu tratamento e sua eliminação colocam ainda problemas provenientes da dificuldade em reutilizar tais embalagens na forma em que são geradas, seja pelo estado de limpeza em que são descartadas, seja pela composição multi-material que é utilizada para sua produção. O presente trabalho pesquisou o emprego de uma fibra natural como reforçadora e modificadora nas propriedades mecânicas na matriz de polipropileno reciclado. Por meio do processo inicial de incorporação das fibras à matriz o polímero (calandragem), foram seguidas de extrusão com o objetivo de homogeneizar melhor o compósito formado. Após sua extrusão, o material granulado foi submetido ao processo de injeção para obtenção dos corpos de prova para os ensaios de caracterização. Os corpos de prova foram então caracterizados através dos ensaios de tração, flexão por três pontos, dureza e resistência ao impacto. As propriedades viscosimétricas do compósito foram avaliadas por meio do índice de fluidez. O trabalho mostra que diferentes quantidades de fibra de juta incorporadas à matriz de polipropileno reciclado, bem como os tratamentos tanto na fibra de juta quanto no polipropileno, modificam suas características obtendo assim diferentes resultados nas propriedades estudadas.

ABSTRACT

The large-scale production of plastics increased to 200 million tonnes in the world, in 2005. This represents a considerable increase in annual productions of 9.9% since 1950. A considerable part of these synthetic polymers, 36% focused on Asia and Oceania, followed by Europe and America with 29%. The production volume of the Middle East and Africa had a stake of 6%. These raw materials are used for a very short period of time and generate a significant volume of discarding. Even with a considerable development of lines of management of discarding, its treatment and disposal problems still arise from the difficulty in reuse packaging such as where they are generated, either by the state of cleanliness in which they are discarded, either by multi-material composition which is used to produce them. This paper seeks the use of natural fiber as a reinforcing and modifier in mechanical properties in the composite of recycled polypropylene. Through the begin process of incorporation of fibers to the matrix polymer (calendering), it was followed by extrusion in order to better mix the composite formed. After its extrusion, the pellets were subjected to the injection process to obtain the bodies of evidence for the trials of characterization. The samples were then carried out the tests of traction, bending by three points, hardness and resistance to impact. The viscometer properties of the composite were evaluated by the rate of flow. The work shows that different amounts of jute fiber incorporated into the matrix of recycled polypropylene, and the treatments in both the polypropylene fiber as in, change their characteristics thereby different properties studied.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Esquema 1: Reciclagem química..... | 19 |
| Esquema 2: Reciclagem Energética..... | 20 |
| Esquema 3: Reciclagem Mecânica..... | 22 |
| Gráfico 1: Mercados Consumidores (Valor)..... | 22 |
| Gráfico 2: Mercados Consumidores (%)..... | 23 |
| Gráfico 3: Número de empresas recicladoras no Brasil..... | 23 |
| Gráfico 4: Volume de material plástico reciclado pós-consumo produzido no Brasil (mil toneladas/ano)..... | 24 |
| Gráfico 5: Monitoramento de crescimento..... | 24 |
| Gráfico 6: Resíduos descartados por tipo de resina..... | 25 |
| Esquema 4: Classificação dos Compósitos..... | 26 |
| Esquema 5: Estrutura básica do polipropileno..... | 34 |
| Esquema 6: Formas isoméricas configuracionais do polipropileno, onde R=-CH ₃ | 36 |
| Esquema 7: Esferulito e uma lamela do polipropileno..... | 40 |
| Fotografia 1: Plantação de juta..... | 46 |
| Fotografia 2: Fio de juta (pós-colheita)..... | 52 |
| Fotografia 3: Fio de juta (industrializada)..... | 53 |
| Fotografia 4: Polipropileno reciclado em forma de grãos..... | 53 |
| Fotografia 5: Granulado de Polipropileno H301 (Braskem)..... | 54 |
| Fotografia 6: Folha de dados Polipropileno H301 (Braskem)..... | 55 |
| Fotografia 7: Fibra de juta antes do tratamento (mercerização)..... | 56 |
| Fotografia 8: Fibra de juta depois do tratamento (mercerização)..... | 57 |
| Fotografia 9: Máquina Universal de Ensaio Q Test..... | 59 |
| Gráfico 7: Ensaio de tração (MPa)..... | 61 |
| Gráfico 8: Ensaio de tração (%)..... | 61 |
| Gráfico 9: Ensaio de índice de fluidez (g/10min)..... | 62 |
| Fotografia 10: Plastômetro – DSM modelo MI-3..... | 63 |
| Fotografia 11: Tinius Olsen Modelo 92T..... | 64 |
| Gráfico 10: Ensaio de impacto Izod sem entalhe para os compósitos formados (J/m)..... | 64 |
| Gráfico 11: Ensaio de impacto Izod sem entalhe para os compósitos formados (%)..... | 64 |
| Gráfico 12: Ensaio de dureza para os compósitos formados..... | 65 |
| Gráfico 13: Ensaio de resistência à flexão para os compósitos formados (MPa)..... | 66 |
| Gráfico 14: Ensaio de resistência à flexão para os compósitos formados (%)..... | 66 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Evolução da destinação de resíduos sólidos urbanos de 1989 e 2000 segundo IBGE..... | 5 |
| Tabela 2: Preço do material reciclado no Brasil..... | 7 |
| Tabela 3: Constantes das células unitárias do polipropileno | 25 |
| Tabela 4: Parâmetros operacionais utilizados na extrusora..... | 44 |
| Tabela 5: Parâmetros operacionais utilizados na injetora..... | 45 |
| Tabela 6: Ensaios de tração para os diferentes compósitos formados..... | 46 |
| Tabela 7: Ensaios de índice de fluidez para os diferentes compósitos formados..... | 47 |
| Tabela 8: Ensaios de impacto Izod para os diferentes compósitos formados..... | 48 |
| Tabela 9: Ensaios de dureza para os diferentes compósitos formados..... | 49 |
| Tabela 10: Ensaios de flexão para os diferentes compósitos formados..... | 49 |

SUMÁRIO

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL..... | 11 |
| 1.2 | OBJETIVO ESPECÍFICO..... | 12 |
| 1.3 | METODOLOGIA..... | 12 |
| 1.4 | JUSIFICATIVA..... | 12 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 13 |
| 2.1 | RECICLAGEM..... | 13 |
| 2.2 | A REALIDADE BRASILEIRA..... | 15 |
| 2.3 | EMBALAGEM..... | 17 |
| 2.4 | TIPOS DE RECICLAGEM..... | 18 |
| 2.4.1 | Reciclagem Química..... | 18 |
| 2.4.2 | Reciclagem Energética | 18 |
| 2.4.3 | Reciclagem Mecânica..... | 20 |
| 2.4.4 | Índice de monitoramento de reciclagem mecânica do plástico no Brasil.. | 21 |
| 2.4.5 | Distribuição volume total de resíduos descartados no Brasil por tipo de resina..... | 21 |
| 2.5 | COMPÓSITOS..... | 26 |
| 2.6 | COMPÓSITOS REFORÇADOS COM PARTÍCULAS..... | 26 |
| 2.7 | COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS..... | 27 |
| 2.8 | PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS E ENSAIOS..... | 28 |
| 2.9 | OUTROS COMPÓSITOS DE FIBRAS COM POLÍMEROS..... | 28 |
| 2.10 | POLIPROPILENO..... | 34 |
| 2.11 | TIPOS DE POLIPROPILENO..... | 34 |
| 2.12 | A POLIMERIZAÇÃO DO POLIPROPILENO..... | 37 |
| 2.13 | ESTRUTURA E CRISTALINIDADE..... | 38 |
| 2.14 | CRISTALINIDADE DO POLIPROPILENO..... | 39 |
| 2.15 | PROPRIEDADES DO POLIPROPILENO..... | 41 |
| 2.16 | APLICAÇÃO DO POLIPROPILENO..... | 42 |
| 2.17 | A JUTA..... | 43 |
| 2.17.1 | Composição da juta..... | 46 |
| 2.18 | ALGUNS ENSAIOS DE CARATERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS..... | 46 |
| 2.18.1 | Ensaio de Índice de Fluides..... | 47 |
| 2.18.2 | Ensaio de Tração | 48 |
| 2.18.3 | Ensaio de Flexão..... | 49 |
| 2.18.4 | Ensaio de Impacto Izod..... | 51 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 52 |
| 3.1 | MATERIAIS UTILIZADOS..... | 52 |
| 3.1.1 | Fibra de Juta..... | 52 |
| 3.1.2 | Polipropileno reciclado..... | 53 |
| 3.2 | METODOLOGIA..... | 55 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3.2.1 | Tratamento superficial das fibras e incorporação da mesma à matriz de polipropileno reciclado e virgem..... | 55 |
| 3.2.2 | Preparação das amostras pelo processo de extrusão e injeção..... | 57 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 58 |
| 4.1 | RESULTADOS..... | 59 |
| 4.1.1 | Ensaio de Resistência à Tração..... | 59 |
| 4.1.2 | Ensaio de Índice de Fluidez..... | 61 |
| 4.1.3 | Ensaio de Resistência ao Impacto Izod sem entalhe..... | 62 |
| 4.1.4 | Ensaio de Dureza..... | 64 |
| 4.1.5 | Ensaio de Flexão..... | 65 |
| 4.2 | DISCUSSÕES..... | 66 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 68 |
| 6 | PROPOSTAS PARA CONTINUAÇÃO DO TRABALHO..... | 69 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | |

1 INTRODUÇÃO

O uso individual de materiais tradicionais utilizados, como os metais, os cerâmicos e até mesmo alguns polímeros, muitas vezes não contempla as propriedades necessárias para algumas aplicações, como baixa densidade, alta rigidez e alta resistência ao impacto. Assim, os usos de materiais compósitos, obtidos pela união de diferentes materiais, podem ajudar a solucionar alguns problemas de aplicações, que individualmente, alguns materiais não possuem.

Foi no início dos anos 60 que houve um aumento da demanda dos segmentos aeroespacial, construção civil e de energia por materiais com módulos extremamente elevados resultando em esforços de pesquisa e desenvolvimento na área de fibras avançadas, principalmente a partir de 1965 (CHAWLA, 2001).

O surgimento de muitos materiais, denominados compósitos, cuja formação se dá através da união de pelo menos duas fases, uma matriz e os outros reforços, procurando a obtenção de propriedades combinadas que resultem num material adequado para determinada aplicação, impulsionou muitos segmentos de pesquisa e desenvolvimento de novos materiais (NIELSEN, 1992).

Compósitos podem ocorrer na natureza ou serem produzidos artificialmente, por exemplo, a madeira, que é a união das fibras de celulose através da lignina, sendo que a fibra celulósica confere a resistência do material, enquanto a lignina é responsável pela coesão das fibras (CALLISTER, 2006).

Compósitos produzidos artificialmente pode-se dizer que as melhorias mais desejadas nos novos projetos, ou existentes, são as propriedades de rigidez, tenacidade e resistência em diferentes temperaturas para materiais individualmente deficientes dessas propriedades, além de outras qualidades importantes, como baixa densidade, resistência à corrosão, resistência química, flexibilidade e baixo custo (HIGGINS, 1994).

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi analisar as propriedades obtidas da incorporação da fibra de juta sendo esta uma fonte renovável em uma matriz polimérica reciclada originária de resíduo pós-consumo.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

O objetivo específico deste trabalho foi analisar as propriedades obtidas do compósito obtido entre a incorporação da fibra de juta na matriz de polipropileno reciclado e a interação entre elas de acordo com os tratamentos realizados na fibra de juta e no polipropileno reciclado.

1.3 METODOLOGIA

As técnicas utilizadas para a caracterização do compósito foram: ensaios mecânicos de tração, dureza, resistência ao impacto, flexão por três pontos e índice de fluidez.

1.4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho visa analisar o emprego da fibra de juta e sua influência nas propriedades mecânicas dos compósitos obtidos. O trabalho torna-se importante, pois sendo esta fibra originada de produto natural, vem de forma a contribuir para a não degradação do meio ambiente, quando resíduos sólidos poliméricos são descartados pós-consumo. O polipropileno está entre as resinas mais consumidas no mundo, na produção de artefatos para embalagens, na indústria automobilística e na produção de utilidades domésticas. Assim a produção de um compósito envolvendo fibra natural e resina termoplástica reciclada levou a um produto com propriedades mecânicas modificadas, de dureza, resistência à tração, ao impacto e à flexão. O trabalho mostrou que é possível o desenvolvimento do agro negócio com aplicação da fibra natural juta, e também o incentivo à reciclagem de resinas termoplásticas que são descartadas pós-consumo. Justificam-se ainda pelo desenvolvimento de um método de redução de resíduos sólidos termoplásticos descartados pós-consumo, em aterros sanitários, minimizando a degradação do meio ambiente, e com isso melhorando o bem estar da sociedade, através da reciclagem, em união de fibras naturais (de fonte renovável).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica aborda alguns subitens relacionados ao desenvolvimento da proposta de trabalho de mestrado profissional.

2.1 RECICLAGEM

Segundo Lund (2001) “ define a palavra reciclagem o ato de extrair materiais de resíduos e reutilizá-los. Reciclagem geralmente inclui coleta, separação, processo, venda e a criação de um novo produto ou materiais provindos de materiais e produtos usados. A reciclagem refere-se à separação ou triagem de materiais reciclados como jornais, alumínio, outros metais ou vidros de resíduos. Isto inclui reciclagem de materiais de resíduos municipais, freqüentemente feita por meio de separação para recuperação de materiais em unidades individuais ou especialmente desenhadas para esta finalidade, unidade de reciclagem industrial *in-loco* e reciclagem por estabelecimentos comerciais”.

“A reciclagem contribui com a diminuição da poluição, gera empregos para população não qualificada, prolongando a vida útil de aterros sanitários, melhorando a qualidade de vida da população e valoriza a limpeza pública” (ZANIN, 2004).

O método de redução da geração do resíduo vem sendo implantado como um meio de minimizar a degradação da natureza e aumentar o bem estar da sociedade. A reciclagem é uma das maneiras de resolver o problema. Ela é parte de um processo de gerenciamento integrado de resíduos sólidos, que se inicia com a redução na fonte. Em outras palavras, a solução desse problema começa com a minimização da quantidade gerada.

“Para se ter um gerenciamento desses resíduos, é necessário um sistema em que a quantidade de resíduos a ser aproveitado dentro de um sistema produtivo ou de consumo seja cada vez maior do que a quantidade a ser disposta. Para isso, existem algumas prioridades” (DEMAJOROVIC, 1995), a saber: evitar (ou quando não for possível) diminuir a produção de resíduos; reutilizar ou reciclar os resíduos; utilizar a energia presente nestes, inertizá-los e dispô-los corretamente os sem valor.

É importante também saber os efeitos de um produto sobre o meio ambiente. A análise do ciclo de vida (ACV) permite tal análise. Ela avalia os efeitos do produto, processo ou serviço sobre o meio ambiente, ao longo de todas as etapas envolvidas, desde a concepção mercadológica, planejamento, extração e uso de matérias primas, gasto com energia,

transformação industrial, distribuição e transporte, uso, reuso, manutenção e reciclagem até a disposição final.

Esse gerenciamento inclui alternativas (além da redução na fonte e reciclagem) como incineração, compostagem e utilização de aterros sanitários. A incineração com recuperação de energia em incineradores com controle de emissão gasosa também é viável em algumas localidades. Já a compostagem é usada para tratar a parte orgânica do resíduo: é um processo de decomposição aeróbica de restos de alimentos em que é possível obter um produto para melhorar as características do solo para agricultura. A última alternativa seria a utilização de aterros sanitários, dotados de tecnologias de controle de poluição que recebem o material que não pode ser incluído em nenhum dos itens acima e ainda tem como vantagem adicional a produção de gás metano, cuja utilização como combustível é maior a cada dia.

O lixo após a separação iniciada nas residências deve seguir para a coleta seletiva, um serviço especializado em coletar o material devidamente separado pela fonte geradora, facilitando assim a reciclagem, pois o material permanece limpo e com maior potencial de reaproveitamento.

A resolução 275 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2007) estabelece um padrão de cores de fácil visualização para a separação do resíduo na coleta seletiva.

Azul: papel e papelão;

Vermelho: plástico;

Verde: vidro;

Amarelo: metal;

Preto: madeira;

Laranja: resíduos perigosos;

Branco: resíduos ambulatoriais e de serviços de saúde;

Roxo: resíduos radioativos;

Marrom: compostos orgânicos;

Cinza: resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação.

Um dos problemas encontrados no processo de reciclagem é a contaminação dos materiais que serão reutilizados. Isso ocorre na separação inicial que é feita nas residências quando se misturam produtos que serão destinados à coleta seletiva com a matéria orgânica.

Desse modo, muitos materiais são desperdiçados devido à contaminação e um custo muito alto é gerado para posterior descontaminação. O que muitas vezes inviabiliza o processo como um todo.

Produzir embalagens com um só material facilita sua reciclagem, o que implica em benefício direto ao meio ambiente devido à facilidade de coleta e tratamento além de muitas vezes representar um menor volume descartado.

2.2 A REALIDADE BRASILEIRA

Segundo a literatura de Packstar Embanews (1998) mostra que do total de 4,9 milhões de toneladas de embalagens produzidas pela indústria nacional em 1996, 61% foram destinados ao setor alimentício, o restante, 31%, foi para produtos não alimentícios, divididos nos setores de higiene e beleza, lazer e pessoal, limpeza, química e agricultura. Em termos monetários, esses percentuais correspondem a valores de 62% para os produtos alimentícios e 38% para os demais. Vê-se que, o setor alimentício, é um mercado para todas as indústrias que desenvolvam projetos e equipamentos voltados para a embalagem.

No início do século XXI, estima-se que a população do planeta é de 6,2 bilhões de habitantes, gerando mais de 1 bilhão de toneladas de resíduos por ano. Desse total, 80 milhões de toneladas são gerados pelo Brasil. Na Tabela 1 tem-se um comparativo da disposição dos resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil nos anos de 1989 e 2000, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2008).

Tabela 1: Evolução da destinação de resíduos sólidos urbanos de 1989 e 2000 segundo IBGE.

| Destinação Resíduos Sólidos Urbanos | 1989 | 2000 |
|--|-------------|-------------|
| Céu aberto (lixões) | 75,41% | 21,2% |
| Rios e outros corpos d'água | 0,65% | 0,1% |
| Aterros controlados | 12,45% | 37% |
| Aterros sanitários | 9,34% | 36,2% |
| Compostagem | 1,20% | 2,9% |
| Centro de triagem | 0,87% | 1,0% |
| Incineração | 0,08% | 0,4% |
| Outros (destinação variada ou não há local fixo) | 0,0% | 1,2% |

Comparativamente entre o ano de 1989 e 2000: (a) houve um aumento de todas as alternativas consideradas sanitária e ecologicamente corretas, entre elas aterros sanitários, compostagem, centro de triagem e incineração, (b) houve um aumento no percentual de

resíduos enviados para aterros controlados (isto deve representar a cobertura de antigos lixões - geralmente com terra - que traz avanços, pois dificulta a proliferação de vetores e diminui o mau cheiro. No entanto não há procedimentos antipoluição necessários para o funcionamento de um aterro sanitário, como manter distância de lençóis freáticos, impermeabilizando o solo antes de receber os resíduos para impedir a infiltração de líquidos no solo e controle de escape de gases gerados no processo de decomposição dos resíduos.

De acordo com o CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2008) o volume da reciclagem no Brasil cresceu 4% (de 5 milhões de toneladas em 2003 para 5,2 milhões de toneladas em 2004). O Brasil foi recordista mundial pela quarta vez na reciclagem de latas de alumínio para bebidas com 95,7%. Entre os países em desenvolvimento, o Brasil segue em primeiro lugar com a reciclagem de embalagens longa-vida e a aplicação de tecnologia plasma, onde consegue separar o alumínio do plástico presente nas embalagens, contribui para aumentar os índices nacionais onde o Brasil segue reciclando com 23% enquanto Colômbia segue com 5,6% e em seguida segue Argentina com 3,2%.

Segundo SEBRAE (SEBRAE/RJ, 2008) em 2005 o Brasil possuía mais de 2000 empresas no setor de reciclagem entre recicladoras, sucateiros, cooperativas e associações e a maioria está concentrada na região sudeste do país. Existem 557 empresas recicladoras de plástico, 60 empresas que operam com metal, 54 empresas que trabalham com reciclagem de papel e 14 com embalagens cartonadas. Vidros, baterias, pneus e pilhas são reciclados por outras 15 empresas. O preço do material reciclado varia de acordo com o segmento e região. Na Tabela 2 tem-se o preço do material reciclado em algumas regiões brasileiras (CEMPRE, 2008)

Tabela 2: Preço do material reciclado no Brasil

| | Papelão | Papel Branco | Latas de Aço | Alumínio | Vidro Incolor | Vidro Colorido | Plástico Rígido | PET | Plástico Filme | Longa Vida |
|----------------------------|---------|--------------|--------------|----------|---------------|----------------|-----------------|--------|----------------|------------|
| Espírito Santo | | | | | | | | | | |
| Guarapari | 190L | 180L | 190L | 3700L | - | - | 550 | 900 | 450 | - |
| Mato Grosso do Sul | | | | | | | | | | |
| Brasilândia | 180PL | 140PL | 270L | 3000 | - | - | 450L | 750PL | 450PL | 100PL |
| Minas Gerais | | | | | | | | | | |
| Itabira | 250PL | 520PL | 350PL | 3400PL | 190PL | 135PL | 851PL | 1200PL | 1200PL | 350PL |
| Pernambuco | | | | | | | | | | |
| Camaragibe | 130 | 200 | 150 | - | - | - | - | 950 | 600 | - |
| Paraná | | | | | | | | | | |
| Londrina | 200 | 360 | 170L | 3500 | 50L | 50L | 950P | 900P | 450P | 130P |
| Rio Grande do Norte | | | | | | | | | | |
| Natal | 320PL | 350L | 300L | 2800L | 80L | 80L | 500L | 600L | 500L | - |
| São Paulo | | | | | | | | | | |
| Paulínia | 260PL | 390PL | 290 | 4230PL | 120L | 120L | 1080P | 1300P | 1050P | 250P |
| Santo André | 200 | 400L | 320PL | 3200PL | 150L | 90L | 900P | 1150PL | 470P | 200PL |
| São Bernardo | 300PL | 530PL | 400PL | 3400PL | 140 | 100 | 850P | 1150P | 800P | 270P |

P=prensado; L=limpo; I=inteiro; C=cacos; un=unidade. (*Preço da Tonelada em Real)

2.3 EMBALAGEM

A embalagem se tornou item fundamental da vida de qualquer pessoa e principalmente das atividades de qualquer empresa.

O desenvolvimento da embalagem acompanhou o desenvolvimento humano, da necessidade inicial do homem de armazenar água e alimentos em algum recipiente, visando à sobrevivência própria, até o início das atividades comerciais, e disseminação do uso das embalagens.

“De acordo com o foco em que a embalagem está sendo analisada, o conceito pode variar: um profissional da área de transformação, por exemplo, a classificação da embalagem é encarada de forma de proteger o produto durante sua movimentação e armazenagem durante um determinado tempo. Em outra análise, o profissional de marketing, visando à comercialização de uma determinada marca, preocupa-se em apresentar bem o seu produto atraindo clientes e consecutivamente, aumentando as vendas,

deixando às vezes em segundo plano o princípio da construção de uma embalagem, que é a de proteger e armazenar um determinado produto” (PEDELHES, 2005).

Segundo Hanlon (1971) materiais de embalagens como o plástico, são versáteis e de boa aparência, entretanto não substituem em todas as situações as outras matérias, como papel e o papelão ondulado. Esses últimos são materiais mais econômicos e ainda são os mais utilizados na fabricação da maioria das caixas. Os metais possuem elevada resistência e rigidez que são necessárias em certas aplicações especiais, mas possuem o inconveniente do alto peso sendo que somente a folha de alumínio provê absoluta barreira nas embalagens flexíveis. As garrafas e potes de vidro são quase sempre os preferidos na escolha, em lugar daqueles de material plástico e seria um erro assumir que eles são inteiramente substituídos por matérias sintéticas.

Para determinados produtos, a utilização isolada dos diferentes materiais de embalagens, tais como, papel, papelão ondulado, cartão, madeira, plásticos, metais (alumínio e aço) e vidro, não é suficiente. Para atender todas as funções da embalagem, a custo mínimo e que resulte num produto competitivo, surgiram os materiais combinados ou compósitos.

2.4 TIPOS DE RECICLAGEM

Os tipos de reciclagem para os plásticos mais utilizados são a reciclagem química, reciclagem energética e reciclagem mecânica.

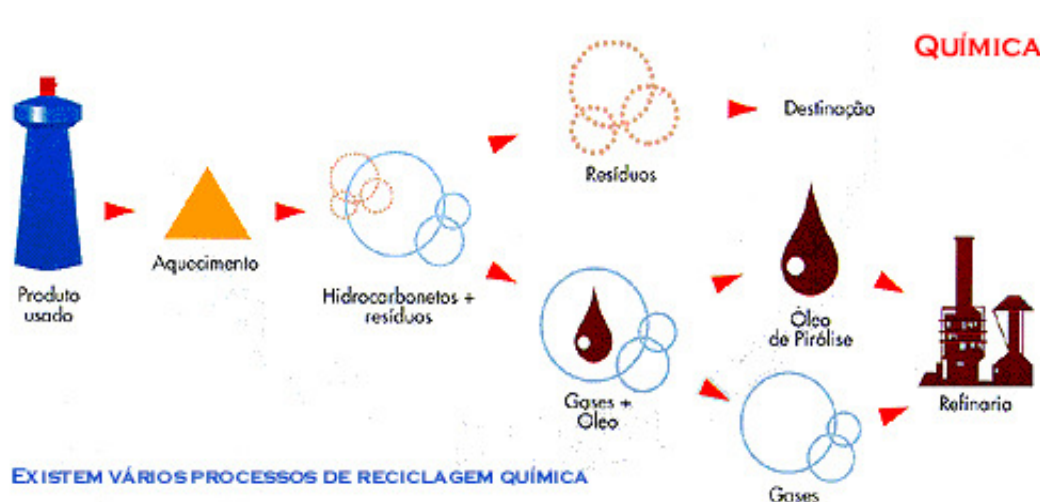
2.4.1 Reciclagem Química

A reciclagem química re-processa plásticos, transformando-os em petroquímicos básicos que servem como matéria-prima em refinarias ou centrais petroquímicas. Seu objetivo é a recuperação dos componentes químicos individuais para reutilizá-los como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos.

Os novos processos desenvolvidos de reciclagem química permitem a reciclagem de misturas de plásticos diferentes, com aceitação de determinado grau de contaminantes como, por exemplo, tintas, papéis, entre outros materiais.

Entre os processos de reciclagem química 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. O esquema 1 apresenta o ciclo da reciclagem química:



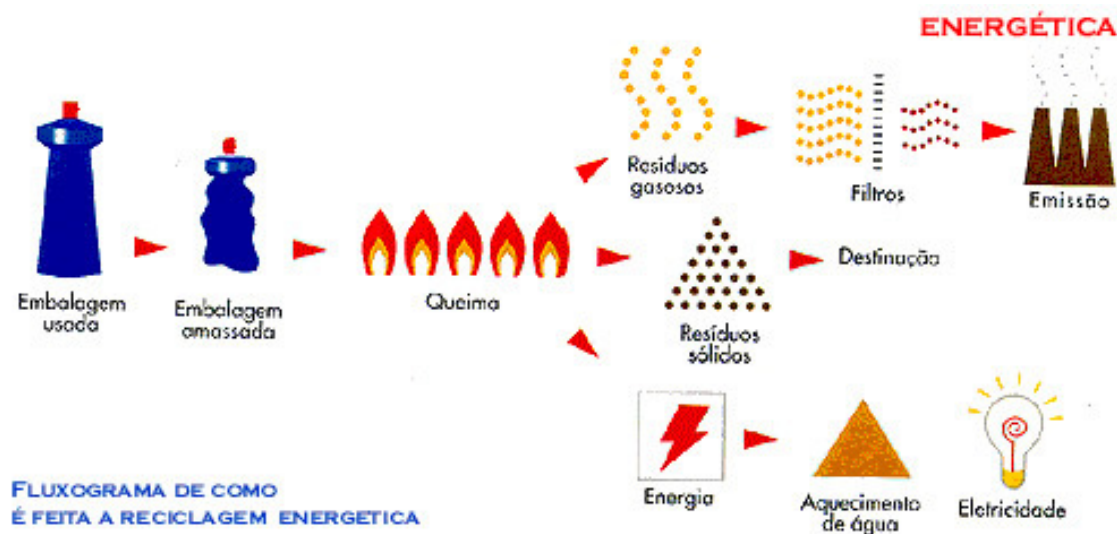
Esquema 1: reciclagem química
Fonte: (Plastivida, 2008)

2.4.2 Reciclagem Energética

É a recuperação da energia contida nos plásticos através de processos térmicos.

A reciclagem energética distingue-se da incineração por utilizar os resíduos plásticos como combustíveis na geração de energia elétrica. Já a simples incineração não reaproveita a energia dos materiais. A energia contida em 1 kg de plástico é equivalente à contida em 1 kg de óleo combustível. Além da economia e da recuperação de energia, com a reciclagem ocorre ainda uma redução de 70 a 90% da massa do material, restando apenas um resíduo inerte esterilizado.

O Esquema 2 apresenta o caminho percorrido da embalagem pós-consumo e os processos sofridos até a reciclagem química completa.



Esquema 2: reciclagem energética
Fonte: Plastivida, (2008)

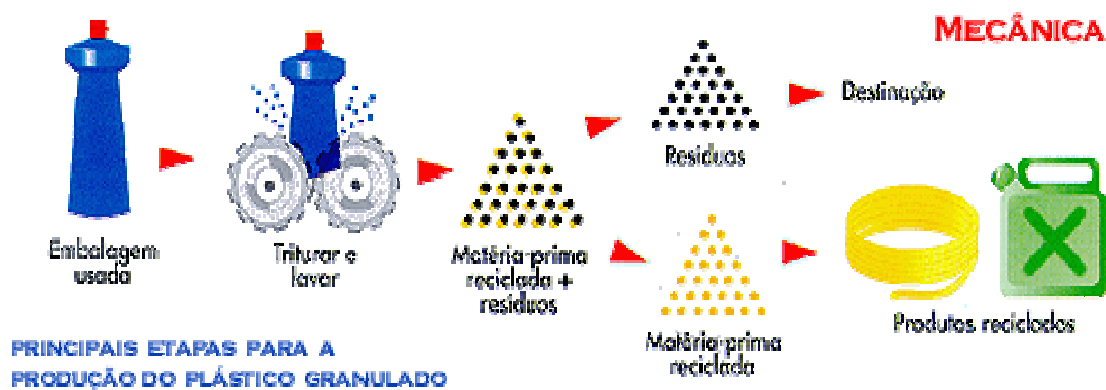
2.4.3 Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos, conduítes, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens não-alimentícias e outros (Plastivida, 2008).

Este tipo de processo passa pelas seguintes etapas:

- ✓ Separação: 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. 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 à 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).



Esquema 3: Reciclagem mecânica

Fonte: (Plastivida, 2008)

2.4.4 Índice de monitoramento de reciclagem mecânica do plástico no Brasil

O índice de monitoramento de reciclagem mecânica do plástico no Brasil é acompanhado de acordo com:

- ✓ Mercados consumidores
- ✓ Empresas recicladoras
- ✓ Plástico pós-consumo
- ✓ Monitoramento de crescimento

O Gráfico 1 apresenta os mercados consumidores e sua distribuição (ton/ano):

Mercados consumidores (em toneladas)



Gráfico 1 – Mercados Consumidores (valor)

Fonte: Plastivida (2007)

O Gráfico 2 apresenta os mercados consumidores e sua representatividade (%):

Mercados consumidores (em toneladas)

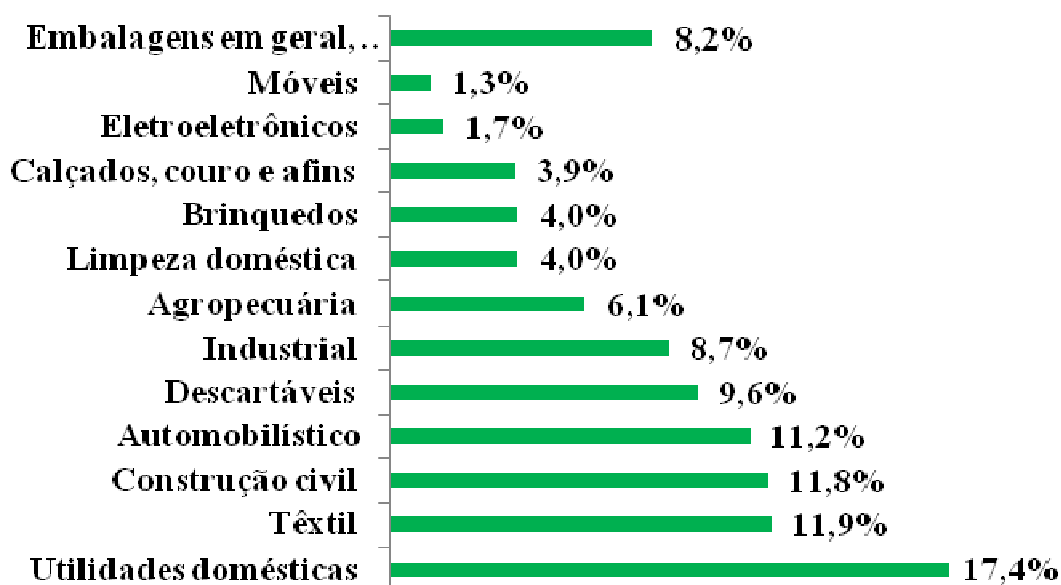


Gráfico 2 – Mercados Consumidores

Fonte: Plastivida (2007)

O Gráfico 3 apresenta as empresas recicladoras no cenário brasileiro:

Empresas recicladoras no Brasil

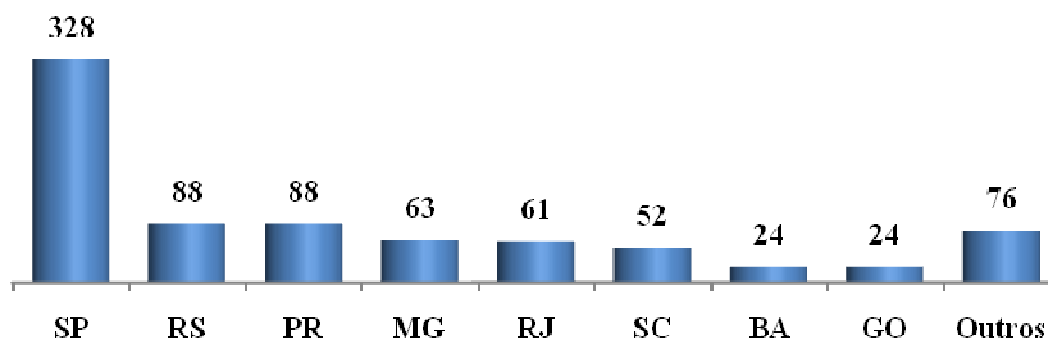


Gráfico 3 – Número de empresas recicladoras no Brasil

Fonte: Plastivida (2007)

São Paulo possui o maior número de empresas recicladoras do país. Pode-se aliar este número devido ao grande contingente de produtos serem produzidos e consumidos no estado e consecutivamente o seu descarte.

O Gráfico 4 apresenta os tipos de plásticos mais reciclados:

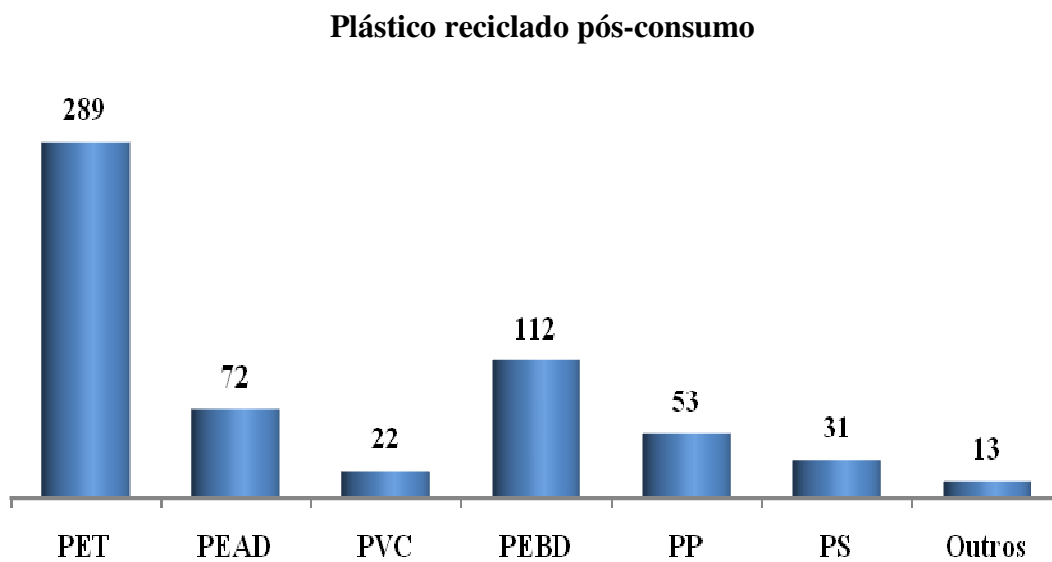


Gráfico 4 – Volume de material plástico reciclado pós-consumo produzido no Brasil (mil toneladas/ano)

Fonte: Plastivida (2007)

Nota-se que o PET é o material mais reciclado entre os outros plásticos.

No Gráfico 5 observamos o desempenho do crescimento de índices de reciclagem mecânica do plástico no Brasil. A taxa de crescimento é de aproximadamente 14,6% ao ano:

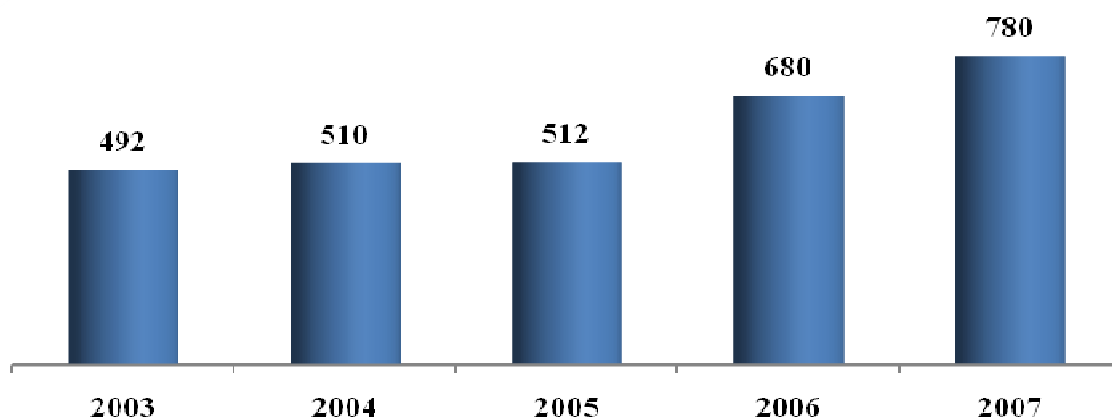


Gráfico 5: monitoramento de crescimento
Fonte: Plastivida, 2007

2.4.5 Distribuição volume total de resíduos descartados no Brasil por tipo de resina

No Gráfico 6 observamos a distribuição do volume de resíduos descartados no Brasil por tipo de resina:

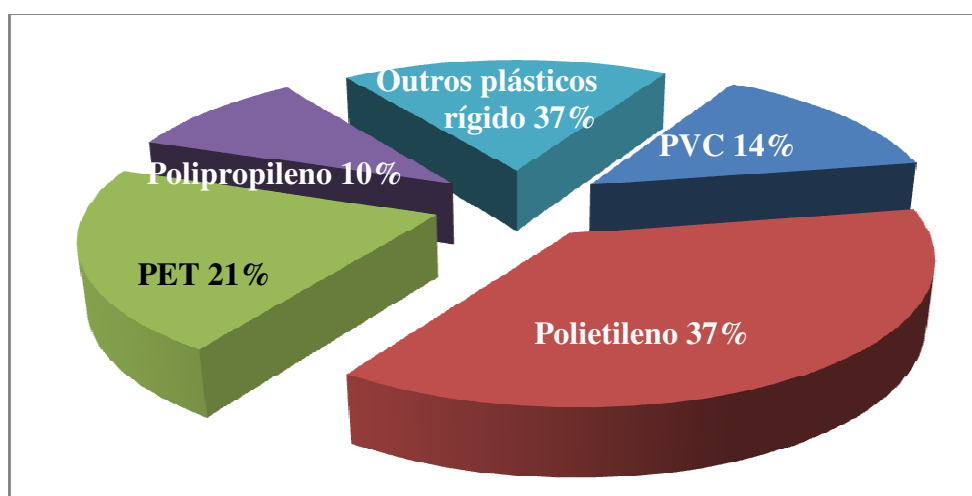


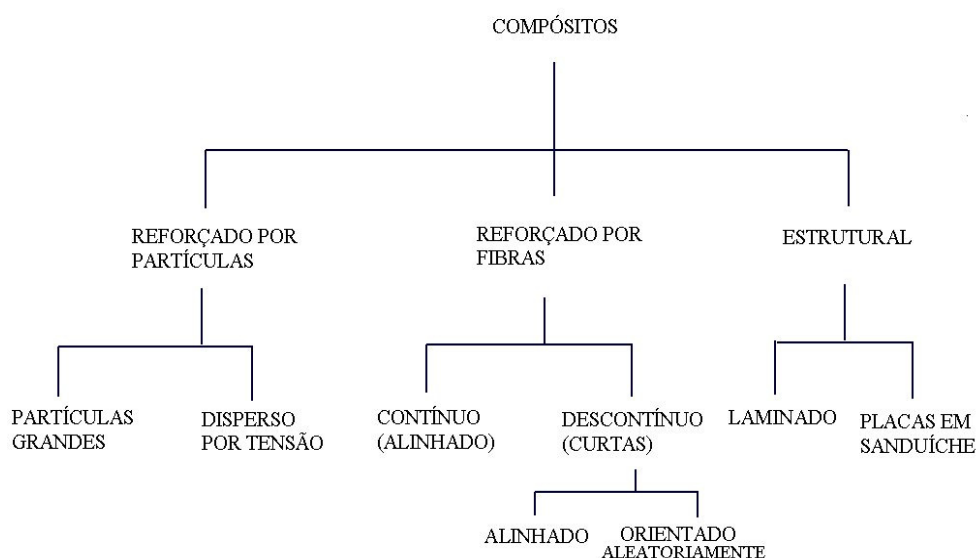
Gráfico 6: resíduos descartados por tipo de resina
Fonte: Plastivida, 2007

Nota-se que o polietileno é um dos plásticos mais descartados representando 37% do que é descartado.

2.5 COMPÓSITOS

Por definição, um compósito é um material multi-fase que apresente uma proporção significativa das propriedades dos constituintes de modo que a melhor combinação das propriedades é obtida (CALLISTER, 1996). Assim, um material formado por um polímero e um metal ou por um polímero e uma cerâmica, ou ainda pela composição de um metal com uma cerâmica com um polímero é um compósito.

Muitos materiais compósitos são formados por apenas duas fases; uma delas é a chamada matriz que é a fase contínua e que rodeia a outra fase, chamada de fase dispersa. As propriedades dos compósitos são: função das propriedades das fases constituintes, suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa (forma e tamanho das partículas, sua distribuição e orientação). Uma estrutura simples para a classificação de materiais compósitos é mostrada no Esquema 4 que consiste de três principais divisões – compósitos reforçados por partículas, compósitos reforçados por fibras e compósitos estruturais.



Esquema 4: Classificação dos Compósitos

Fonte: CALLISTER, (2006)

2.6 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM PARTÍCULAS

Segundo Callister (2002) os compósitos reforçados com partículas grandes e os compósitos reforçados por dispersão são as duas subclassificações dos compósitos

reforçados com partículas. A distinção entre essas subclassificações está baseada no mecanismo do reforço ou aumento de resistência. O termo “grande” é usado para indicar que as interações partícula-matriz não podem ser tratadas no nível ou ponto de vista atômico ou molecular; em vez disso é empregada a mecânica do contínuo. Para a maioria desses compósitos, a fase particulada é mais dura e mais rígida do que a matriz. Essas partículas de reforço tendem a restringir o movimento da fase matriz na vizinhança de cada partícula. Essencialmente, a matriz transfere parte da tensão aplicada às partículas, as quais suportam uma fração da carga. O grau de reforço ou melhoria do comportamento mecânico depende de uma ligação forte na interface matriz-partícula.

No caso dos compósitos que têm a sua resistência aumentada por dispersão, as partículas são, em geral, muito menores, com diâmetros entre 0,01 e 0,1 μm (10 e 100 nm). As interações partícula-matriz que levam ao aumento de resistência ocorrem no nível atômico ou no nível molecular. O mecanismo de aumento de resistência é semelhante àquele para o processo de endurecimento por precipitação. Enquanto a matriz suporta a maior parte de uma carga que é aplicada, as pequenas partículas dispersas evitam ou dificultam o movimento de discordâncias. Dessa forma, a deformação plástica é restringida de modo a tal que o limite de escoamento e o limite de resistência à tração, bem como a dureza são melhorados.

2.7 COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS

Tecnologicamente, os compósitos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa encontra-se na forma de uma fibra (CALLISTER, 2002). Os objetivos de projeto dos compósitos reforçados com fibras incluem com frequência resistência e/ou rigidez alta em relação ao seu peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, os quais correspondem, respectivamente, às razões do limite de resistência à tração em relação à densidade relativa e ao módulo de elasticidade em relação à densidade relativa.

Os compósitos reforçados com fibras são classificados de acordo com o comprimento da fibra (CALLISTER, 2002). No caso de fibras curtas, estas não possuem comprimento mínimo para produzir o efeito de reforço no compósito.

2.8 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS E ENSAIOS

Até o presente, quase todo o desenvolvimento de materiais compósitos teve como objetivo as aplicações estruturais. Devido à sua complexa microestrutura, estes materiais são de difícil caracterização. Na avaliação das propriedades das propriedades mecânicas, deve-se levar em conta a complexidade da interação mecânica entre o reforço e a matriz (CALLISTER, 2002).

No ensaio de tração são determinadas as propriedades de resistência à tração uniaxial, módulo de elasticidade, alongamento e coeficiente de Poisson. A resistência à tração é avaliada pela carga aplicada no material por unidade de área, no momento da ruptura. O alongamento representa o aumento percentual do comprimento da peça sob tração, no momento da ruptura.

O módulo de elasticidade é medido pela razão entre a tensão e a deformação, dentro do regime elástico, onde a deformação é totalmente reversível e proporcional à tensão. O coeficiente de Poisson é definido como a razão negativa entre a deformação transversal e a correspondente deformação longitudinal de um corpo-de-prova sob tensão uniaxial, abaixo do limite de proporcionalidade do material.

As normas ASTM D638 e D3039 descrevem o ensaio de tração. A norma ASTM D638 é mais abrangente enquanto que a norma ASTM D3039 é indicada para compósitos laminados reforçados com fibras de alto módulo (AMERICAN STANDARDS FOR TESTING MATERIAIS, 2000).

Das normas acima citadas, algumas são exclusivas para materiais compósitos, outras são destinadas aos materiais poliméricos, podendo ser adaptadas aos materiais compósitos. As normas exclusivas aos materiais compósitos foram elaboradas, em sua maioria, visando os compostos tradicionalmente utilizados, com fibras de vidro e carbono (CALLISTER, 2002).

2.9 OUTROS COMPÓSITOS DE FIBRAS COM POLÍMEROS

Diversos aspectos dos compósitos formados por fibras naturais fazem parte do grupo dos biocompósitos: que por sua vez são formados por:

- a) Uma matriz composta por um biopolímero, ou

- b) Fibras vegetais naturais ou processadas ou
- c) Ambos os componentes.

As pesquisas são focadas nos seguintes aspectos:

- a) Pesquisa e desenvolvimento de novos polímeros biodegradáveis,
- b) Pesquisa e desenvolvimento da utilização de fibras naturais,
- c) Desenvolvimento de métodos analíticos que permitam medir a biodegradabilidade dos compósitos e
- d) Estudos técnico-econômicos e de marketing para os novos compósitos.

Para os compósitos a transferência de esforços da matriz para a fibra acontece por meio da interface. Antes de melhorar a interação da fibra com a matriz é preciso conhecer a magnitude desta interação.

Nardin (2006) que estudou detalhadamente as interfaces fibra-matriz de diversos compósitos, discutiu os fenômenos de adesão, os tipos de interações que favorecem a adesão e os mecanismos de adesão (modelo de ancoragem mecânica, a teoria de interação elétrica, a teoria das camadas de coesão fraca e o conceito de interface, a teoria termodinâmica da adesão, a teoria da difusão e da interdifusão, e a teoria da ligação química).

A influência dos tratamentos químicos nas propriedades superficiais de fibras de linho foi avaliada por Busnel (2006). Após tratamentos em meios de hidróxido de sódio, de ácido fórmico, e de hidróxido de sódio com posterior tratamento em meio de anidrido acético, compósitos de resina poliéster termofixo com uma fibra única foram preparados para avaliação mecânica por meio de ensaios de cisalhamento na interface matriz-fibra. Uma caracterização adicional foi feita com espectroscopia no infravermelho e microscopia de força atômica. Os resultados mecânicos mostraram que os tratamentos químicos propostos para a fibra de linho provocaram redução da tensão de ruptura e de alongamento na ruptura para o compósito fibra de linho-resina de poliéster termofixo. Além das alterações superficiais os tratamentos provocaram também alterações volumétricas na fibra de linho.

Na linha das alterações superficiais das fibras, Sebe (2006) trabalhou novos métodos de funcionalização com organossilanos. A caracterização das fibras tratadas foi feita por meio de espectroscopia de infravermelho e ressonância magnética nuclear no estado sólido, mostrando que foi possível introduzir novos grupos funcionais na superfície das fibras ligno-celulósicas a partir de reagentes organossilanos variados.

Bréard (2006) realizou um estudo comparativo das propriedades de compósitos poliéster-fibra de vidro e poliéster-fibra de linho. A comparação entre os compósitos

mostrou que as pré-formas de fibra de linho são menos compressíveis e menos permeáveis. Os ensaios de tração dos corpos-de-prova dos dois tipos de compósitos mostram que, na mesma taxa volumétrica de fibras, a rigidez específica dos compósitos reforçados por fibras de linho ou de vidro é a mesma em ambos os casos, tornando possível substituir a fibra de vidro pela fibra de linho no escopo do estudo.

Gouanvé (2006) estudou o efeito de tratamentos plasma frio após autoclavagem para fibras de linho em compósitos com poliéster como matriz polimérica. Tais tratamentos foram aplicados com o objetivo de reduzir a permeabilidade do compósito à água. A autoclavagem visou preparar as fibras de linho para o tratamento plasma frio com CF_4 . Este estudo permitiu concluir que a autoclavagem seguida do tratamento plasma a frio com CF_4 reduziu a permeabilidade do compósito à água.

A incorporação de fibras curtas de celulose (flax, lyocell e viscose) num composto de borracha (mistura de borracha natural com SBR), segundo Nechwatal (2005), as tornaram mais rígida e mais dura, porém, a rigidez ficou abaixo do esperado quando comparando com a rigidez teórica do compósito por conta da agressividade do processo de incorporação.

Nishino (2005), preparou um compósito de celulose sem usar uma matriz por dissolução parcial de superfícies da fibra. Para otimizar as condições de imersão da fibra celulósica no solvente, as fibras, foram parcialmente dissolvidas e uniformizadas pela compressão seguida pela secagem. Este compósito mostrou excelente propriedade térmica e mecânica. Além do que, este compósito é um recurso sustentável e é biodegradável após o uso.

Para Neagu (2005) o teste em diferentes fibras de madeira e sua adequação para uso como reforço em matriz polimérica termofixa de um compósito de número de fibras de madeira mole e dura e, branqueadas e não branqueadas produzidas industrialmente ou em um laboratório. Uma folha dinâmica e primária foi utilizada para obter retalhos com várias orientações de fibra. Os compósitos foram preparados pelo processo de moldagem por transferência de resina com uma resina éster epóxi vinílica. A distribuição da orientação das fibras foi determinada experimentalmente por meio de análise de imagens digitalizadas dos retalhos de camadas de fibras aderidas a uma fita adesiva.

As densidades dos materiais, da matriz, das fibras, bem como do compósito como fração de massa foram também determinadas. Um modelo micro mecânico combinado com a mecânica clássica de laminados foi utilizado para relacionar as propriedades elásticas dos compósitos com as propriedades elásticas das fibras. Este método fornece dados

quantitativos de engenharia para avaliar o potencial de diferentes fibras como reforço de enrijecimento. Os resultados mostraram que as fibras não branqueadas são melhores que as fibras branqueadas para uso como reforços de enrijecimento e as fibras de madeiras duras tem maior rigidez que as fibras de madeira mole correspondentes.

Materiais compósitos segundo Peijs (2005), têm sido cada vez mais usados na indústria automotiva e são substitutos dos metais e também de polímeros não reforçados. Os motivos importantes incluem desempenho mecânico melhorado e estabilidade dimensional. Contudo, sob a luz da demanda crescente na reciclagem de materiais automotivos, o uso de pelo menos dois constituintes (matriz polimérica e a fibra) é problemático. Uma visão interessante é utilizar tanto a matriz polimérica como a fibra composta por polímeros, e até mesmo do mesmo polímero.

As fibras naturais possuem uma boa capacidade de reforço quando são compostas com polímeros segundo Bogoeva-Gaceva (2005). Essas fibras são relativamente de baixo custo, originárias de fontes renováveis, não geram quantidade adicional de CO₂ quando queimadas (a quantidade de CO₂ formada na combustão é inferior ao que foi consumido durante o crescimento do vegetal), biodegradáveis e exibem valores favoráveis de resistência e módulos específicos. Polímeros termoplásticos têm um tempo de ciclo curto bem como a reprocessabilidade.

Característica de processabilidade e as propriedades mecânicas da fibra híbrida de sisal e de palmeira reforçadas por compósito de borracha natural segundo Jacob (2004), têm sido estudadas com a função de fibras de tratamento e carga. As propriedades mecânicas do compósito na direção longitudinal são superiores a aquelas na direção transversal. A adição de sisal e fibras de palmeiras conduziu para o aumento da medida de tensão e resistência ao rasgo, mas aumentou o módulo. A extensão de adesivo entre a fibra e a matriz de borracha aumentou com o tratamento álcali da fibra. Das propriedades mecânicas de fibras tratadas com álcali exibiram melhores propriedades do que os compósitos não tratados.

Doan (2006) identificou os efeitos de agentes compatibilizantes em interfaces e carga de propriedade mecânica de compósito de fibra de juta e PP sendo essencial para o entendimento de macro mecânico responsável para a fratura interfacial. Em adição, foram estudados os efeitos de resistência ao rasgo e umidade da fibra de juta. Com o Polipropileno enxertado a 2% em anidrido maleico (MAHgPP), pode notar-se significavelmente aumentar a força de adesão com fibra de juta e as propriedades mecânicas do compósito.

O tipo de PP também possui significativamente efeitos de um crescimento de agentes compatibilizantes do compósito de fibra de juta e PP enxertado com anidrido maleico. Polipropileno de baixo índice de fluidez aumenta as propriedades mecânicas para uma ótima extensão do que baixa massa molecular. O módulo de tensão do compósito de juta/PP aumenta com o aumento da quantidade de fibra e mostra menor sensibilidade da variação de adesão na interface desses materiais. A resistência à tração da fibra na verdade aumenta com o aumento da área da seção transversal numa relação constante, o que é inconsistente com o comportamento estatístico da falha de outros materiais quebradiços onde a probabilidade de defeitos críticos causadores da falha aumenta com o aumento do volume da fibra.

A propriedade intersticial da fibra de juta é proporcional a área da seção transversal associada com a forma circular perfeita. O aumento da resistência ao rasgo ocorre para o compósito juta/PP em condições de umidade, como é atribuída com o aumento de um polímero e resistência de adesão interfacial. A saturação de absorção de unidade da fibra de juta é acima de 10-20wt% pode ser alcançado depois de acondicionamento em ambientes com diferentes unidades relativas.

A fração de volume e o tamanho do bagaço de cana usado foram variados segundo Stael (2001), e os resultados mostram que a incorporação de bagaço de cana cortado reduz a capacidade de deformação do polímero EVA e o resultado referente à resistência ao impacto mostrou que é independente do tamanho do bagaço, mas sim, varia com a fração de volume do mesmo. Como a função da fração de volume foi utilizada para mostrar que a performance mecânica do compósito de bagaço com EVA pode ser trabalhada para reproduzir o comportamento das placas de madeira.

Abu-Sharkh (2004), notou-se que o compósito estudado é muito mais estável que o PP sob condições severas de intemperismo natural e acelerado, ao incorporar folhas de palmeira à matriz de polipropileno (PP). O estudo avaliou ainda a estabilidade de compósitos que utilizavam PP enxertado com anidrido maleico. Amostras compatibilizadas mostraram-se menos instáveis que as não compatibilizadas devido à baixa estabilidade do PP enxertado. Os estabilizantes Irgastab e Tinuvin mostraram-se eficientes para compósito de fibra de celulose/PP. Contudo, a estabilidade concedida pela presença da fibra no compósito por meio da adesão interfacial resultante da oxidação da matriz polimérica pode ser fonte de redução da resistência mecânica.

Segundo Kumar (2005), a utilização de fibra natural como reforço de compósito termoplástico tem aumentado não somente pelo interesse ecológico, mas também pelo

extenso alcance em sua aplicação. Três tipos de compósitos foram preparados pela mistura de materiais copolímeros propileno-etileno (EP) e, 1) fibra de juta tratada com 3% de NaOH, 2) fibra de juta tratada com 17,5% de NaOH e 3) pó de celulose micro cristalina comercial usando copolímero EP enxertado com anidrido maleico como compatibilizante.

Os compósitos obtidos foram caracterizados por FTIR, TGA e microscopia eletrônica de varredura. A durabilidade dos compósitos foi avaliada sob radiação policromática ($\lambda \geq 290$ nm) e em diferentes condições de compostagem em diferentes intervalos de tempo. Determinou-se que o tratamento de fibras naturais foi influenciado pelo tempo de utilização do produto final. Os compósitos feitos com celulose microcristalina, mostraram melhores propriedades mecânicas bem como melhor foto-resistência. As amostras contendo fibras tratadas com 3% de NaOH exibiram foto-resistência e bio-suscetibilidade mais baixa.

Segundo Huda (2005), as fibras naturais têm substituído tradicionalmente os reforços sintéticos usados na preparação de compósitos ambientais. Materiais compósitos também têm substituído matérias convencionais em vários campos devido ao seu fácil processamento. Compósitos de Poli ácido Lático (PLA) reforçados com fibras de vidro picadas e fibra de celulose de jornais reciclados (FCJR) foram obtidos por extrusão em dupla-rosca seguida de moldagem por injeção. Adicionalmente um compósito de polipropileno (PP) reforçado com fibra de vidro (FV) foi preparado e comparado com os compósitos de PLA e FCJR e de PLA e FV. Os módulos de tensão e flexão do compósito reforçado com FCJR foram significativamente maiores quando comparados com a resina virgem.

Outra fibra – a de coco - tem sido usada como reforço em polietileno de baixa densidade, segundo Brahmakumar (2006, p. 1813). O efeito da camada superficial de cera da fibra na interação de interface matriz e fibra, bem como as propriedades do compósito foi estudada por meio de um teste de tração de fibra única. Os efeitos de orientação das fibras no compósito também foram avaliados. A camada de cera promove uma boa ligação entre fibra-matriz e a remoção da cera resulta em diminuição drástica tensão de retirada da fibra única, bem como aumento do comprimento crítico da fibra e o correspondente decréscimo da resistência ao rasgo e o módulo do compósito. A camada de cera do polímero natural também exhibe um efeito forte de ligação interfacial num enxerto de cera de cadeia de 15 carbonos (C_{15}) numa fibra livre de cera.

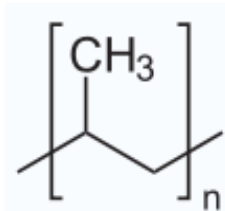
O aspecto morfológico da fibra ao longo da superfície com a matriz favorece o escoamento orientado de fibras relativamente longas (20 mm) ao longo da matriz fundida

durante a extrusão, em contraste com a fibra de sisal e a fibra de abacaxi (comprimento limite de 6mm) sob condições idênticas de extrusão. A resistência ao rasgo longitudinal e o módulo do compósito da fibra de coco melhora cerca de 300% e 700%, respectivamente, pela incorporação 0,25 V_f (Fração volumétrica da fibra) de fibra longa de 20 mm. A remoção da camada de cera resulta numa fraca ligação interfacial que aumenta a tensão crítica da fibra em 100%, reduz a resistência ao rasgo em 40% e o módulo em 60%.

De acordo com Joshi (2004), fibras naturais que apresentam baixo custo, são leves e ambientalmente superiores têm surgido como alternativa para fibra de vidro nos compósitos. A mesma superioridade dos compósitos com fibras naturais tem se apresentado pelos seguintes motivos: (1) a produção de fibras naturais apresenta impactos ambientais menores, se comparados aos provocados pela produção das fibras de vidro; (2) os compósitos de fibras naturais, para o mesmo desempenho que os compósitos de fibras de vidro, reduzindo a utilização de polímeros, outro material poluente; (3) as fibras naturais são mais leves e promovem a eficiência dos combustíveis, além de reduzir a emissão de poluentes resultantes da combustão, principalmente em aplicações automotivas; e (4) o final do ciclo de vida da incineração das fibras naturais resulta em recuperação de energia e créditos de carbono.

2.10 POLIPROPILENO

As resinas termoplásticas propilênicas são produzidas a partir do gás propileno, que é subproduto do refino do petróleo, a nafta sendo submetido ao processo de craqueamento na segunda geração da indústria petroquímica. Em seu estado natural, a resina é translúcida, leitosa e de excelente facilidade de coloração (ALBUQUERQUE, 1990). O Esquema 5 apresenta a estrutura básica do polipropileno.



Esquema 5 – Estrutura básica do polipropileno

2.11 TIPOS DE POLIPROPILENO

“Polipropileno Homopolímero” onde sua polimerização é originada através da repetição do monômero de propeno unicamente. Uma das principais características de tipo de polímero formado é a rigidez.

“Polipropileno Copolímero Heterofásico” é uma blenda física do polipropileno homopolímero com a incorporação da borracha eteno-propeno (EPR). Esta blenda é obtida diretamente pelo processo de polimerização sendo produzido primeiramente o homopolímero e na seqüência a borracha de EPR. Neste caso, o polímero formado possui fases distintas. A principal característica deste produto formado é a resistência ao impacto especialmente a baixas temperaturas não possuindo transparência.

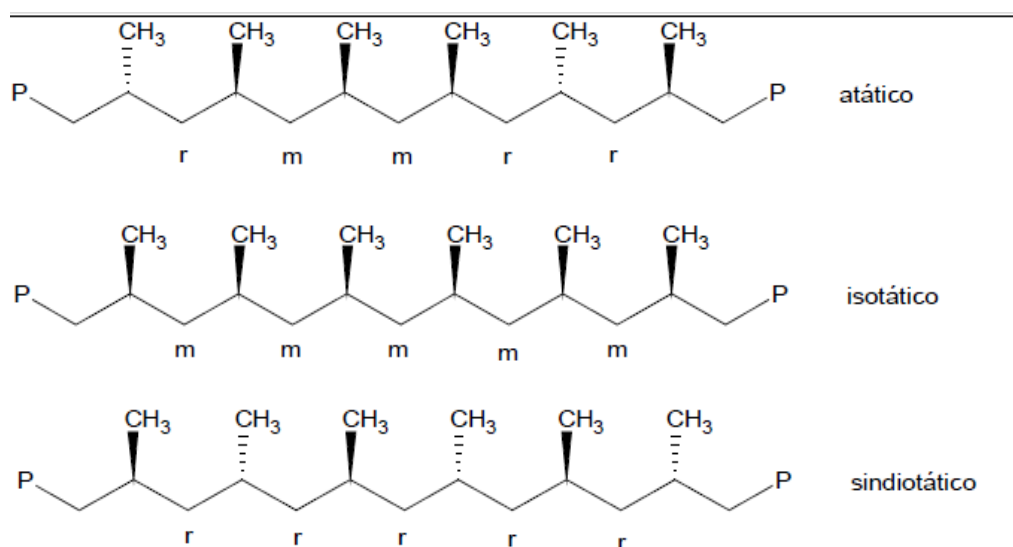
“Polipropileno Copolímero Randômico” é copolimerizada por propeno e eteno. A inserção de eteno interrompe a seqüência isotática do polipropileno homopolímero diminuindo a cristalinidade e a temperatura de fusão. Há neste polímero formado transparência, resistência a impacto a temperaturas ambiente (23°C) e a baixas temperaturas (-20°C).

G. Natta, em 1954, obteve pela primeira vez o polipropileno (PP), empregando um sistema catalítico constituído de $TiCl_4$, e $Al(C_2H_5)_3$

O polipropileno (PP) pertence à família das poliolefinas, é um termoplástico produzido através da polimerização do propeno com o auxílio de catalisadores do tipo Ziegler (catalisadores por coordenação ou estereoespecíficas), semelhantes ao citado anteriormente.

O sistema catalítico é chamado estereoespecíficas, pois controla a posição de cada unidade do mero que é adicionada à cadeia polimérica, e assim conduz à construção de longas cadeias em que os grupos metila das moléculas do polipropileno são arranjadas sistematicamente, ou seja, conduz à formação de um polímero final de estrutura especial regular, predeterminada a partir de um mero assimétrico (CATÁLOGO DA POLIBRASIL, 2008).

O processo de polimerização produz três diferentes estereoisômeros: atático (irregular), isotático e sindiotático, conforme ilustra o Esquema 6.



Esquema 6: Formas isoméricas configuracionais do polipropileno, onde R=-CH₃

Fonte: RODRIGUES, (1982)

Polipropileno atático é um material amorfo (não cristalino) dúctil, com pouca ou nenhuma resistência mecânica.

Polipropileno sindiotático é facilmente cristalizado, porém não é muito encontrado, devida a relativa facilidade de formação do polímero isotático, em polimerizações estereoespecíficas. O polipropileno sindiotático é um polímero cristalino, tem densidade e temperatura de fusão (aproximadamente 20°C) menor que o polipropileno isotático, além de ser mais solúvel em hidrocarbonetos.

Polipropileno isotático (PPi) tem maior interesse prático por ser altamente cristalino, apresentar alto ponto de fusão, ser rígido e insolúvel a temperatura ambiente, tendo boa solubilidade acima de 80°C em solventes como xileno, decalina e outros hidrocarbonetos.

Entretanto, só em 1957 o polipropileno isotático tornou-se comercialmente disponível, e em 1960 estava sendo comercializado por inúmeras companhias, incluindo ICI e Shell. Tal polímero está apresentando grande uso de moldagem por injeção, extrusão e sopro, filmes, fibras, filamentos e para uma variedade de outras aplicações (MARK, 1989).

Atualmente a Europa, USA e Japão detém aproximadamente 75% da produção mundial de polipropileno.

2.12 A POLIMERIZAÇÃO DO POLIPROPILENO

Em relação ao poliestireno, polietilenos e poli (cloreto de vinila) – PVC, o polipropileno é um material relativamente novo e por isso a tecnologia de polimerização é atualmente muito analisada comparativamente aos demais (PS, PE, PVC entre outros), buscando-se novas tecnologias e novos catalisadores de polimerização.

O polipropileno (homopolímero ou copolímero) obtido com catalisador tipo Ziegler-Natta requer como matéria prima um propeno com baixíssimos teores de impurezas para não comprometer o desempenho do catalisador e, conseqüentemente, a produtividade e a qualidade do produto final (GONÇALVES, 1995).

O polipropileno é produzido por precipitação sob baixa pressão, durante a polimerização do gás propeno, na superfície de catalisadores do tipo Ziegler-Natta, estereoespecíficos, e altamente efetivos quando dispersos em hidrocarbonetos líquidos. A temperatura é mantida suficientemente baixa para permitir a precipitação do polímero quando formado na suspensão (MILES, 1975).

O polipropileno é obtido por poliadição, via complexo de coordenação, utilizando catalisadores do tipo Ziegler-Natta, o que resulta em um produto isotático com massa molar numérica média (Mn) da ordem de 80000-500000g/mol, cristalinidade entre 60 a 70%. Esta polimerização estereoespecífica pode ser realizada em processos contínuos ou descontínuos em que a fase diluente pode ser hexano ou heptano.

A polimerização do propeno pode ocorrer na fase líquida ou na fase gasosa, em produtos modernos. Também são empregados catalisadores suportados por cloreto de magnésio, que na sua forma ativa aumentam a atividade catalítica, tornando mais simples o processo de polimerização. Com isso e melhorando-se a função catalítica desenvolveram-se os catalisadores, superativos de última geração, com melhores rendimentos, estereoespecificidade e controle, temperatura de fusão (Tm) entre 165-175°C e temperatura de transição vítrea (Tg) aproximadamente de -8°C.

Qualquer que seja o catalisador comercial utilizado, a polimerização do propeno produz duas formas de polipropileno (PP), em maior ou menor quantidade a não ser que em sistemas catalíticos mais novos e outras tecnologias empregadas interfiram nas quantidades e tipos de polipropilenos gerados (AMERICA SOCIETY FOR TESTING MATERIALS).

- Polipropileno essencialmente amorfo, borrachoso e facilmente solúvel em solventes orgânicos (PP atático).

- Polipropileno altamente cristalino, que é a forma comercial de maior interesse (PP isotático).

2.13 ESTRUTURA E CRISTALINIDADE

O polipropileno é um polímero termoplástico, linear e apolar. A estrutura do polipropileno é análoga à do polietileno de alta densidade, com um grupo metila (CH_3) substituindo um dos hidrogênios (ALBUQUERQUE, 1990). É esse grupo metila que pode gerar produtos de diferentes taticidades: isotática, sindiotática e atática. No polipropileno isotático, os grupos metila (CH_3) estão localizados no mesmo lado, em relação ao plano da cadeia principal. O polipropileno isotático é bem mais rígido que o atático, altamente cristalino, e com um ponto alto de fusão cristalina. Os polímeros comerciais utilizados são 90-95% com a configuração isotática.

No polipropileno sindiotático os grupos metila se apresentam alternados e no atático estão distribuídos aleatoriamente, ao longo da cadeia principal.

A estrutura do PP atático é amorfa, com aparência de material borrachoso e pouca importância comercial.

O polipropileno pode apresentar também outra estrutura conhecida por polímero “estereobloco”, onde os pedaços de cadeias curtas de configuração isotática ocorrem alternadamente.

Em geral, um polímero estereobloco, com inversão pouco freqüente de cadeia longa possui propriedades diferentes a dos polímeros isotáticos de alta massa molar (MILES, 1975).

As características do polipropileno são definidas por parâmetros como: massa molar média, distribuição da massa molar, grau de cristalização e copolimerização, que podem variar no processo básico de polimerização.

A massa molar média e o número médio de unidades de propileno por cadeia de polipropileno são avaliados indiretamente através da medida da viscosidade, cujo parâmetro mais utilizado é o índice de fluidez, que é uma avaliação da fluidez do polipropileno fundido. O índice de fluidez é inversamente proporcional ao peso molecular. Os polipropilenos com alta fluidez, geralmente tem menor resistência mecânica, que aqueles de alta massa molar (baixa fluidez).

A distribuição da massa molar ou variação do tamanho nas cadeias de polipropileno pode ser determinada por técnicas de fracionamento e por cromatografia de permeação em gel (GPC).

O polipropileno com alto grau de cristalização tem alta rigidez, porém com a tendência de ser relativamente mais frágil a baixas temperaturas.

Assim, a cristalinidade e a estrutura do cristal dependem do processo térmico ao qual o polímero foi submetido. O polipropileno resfriado rapidamente, principalmente em paredes finas, apresenta um grande número de pequenos cristais em formação aleatória, podendo originar uma película reforçada de micro cristais.

Quando resfriado lentamente, o polipropileno permite maior crescimento de cristais, os esferulitos que se agrupam entre si. O resfriamento lento nas regiões internas originará esferulitos maiores e o material será relativamente quebradiço.

Os copolímeros são geralmente produzidos pela copolimerização com etileno, onde o sistema bifásico é produzido com a matriz de polipropileno reforçada com uma fase descontínua elástica propileno-etileno, resultando num polímero de melhor resistência ao impacto, especialmente em baixas temperaturas. A copolimerização do propileno resulta numa redução do módulo de elasticidade, porém apresentando um melhor balanço de propriedades como a resistência ao impacto do que os homopolímeros.

Entretanto, os copolímeros apresentam um maior custo de produção. É fundamental a escolha do tipo correto de polipropileno para se obter um determinado desempenho.

2.14 CRISTALINIDADE DO POLIPROPILENO

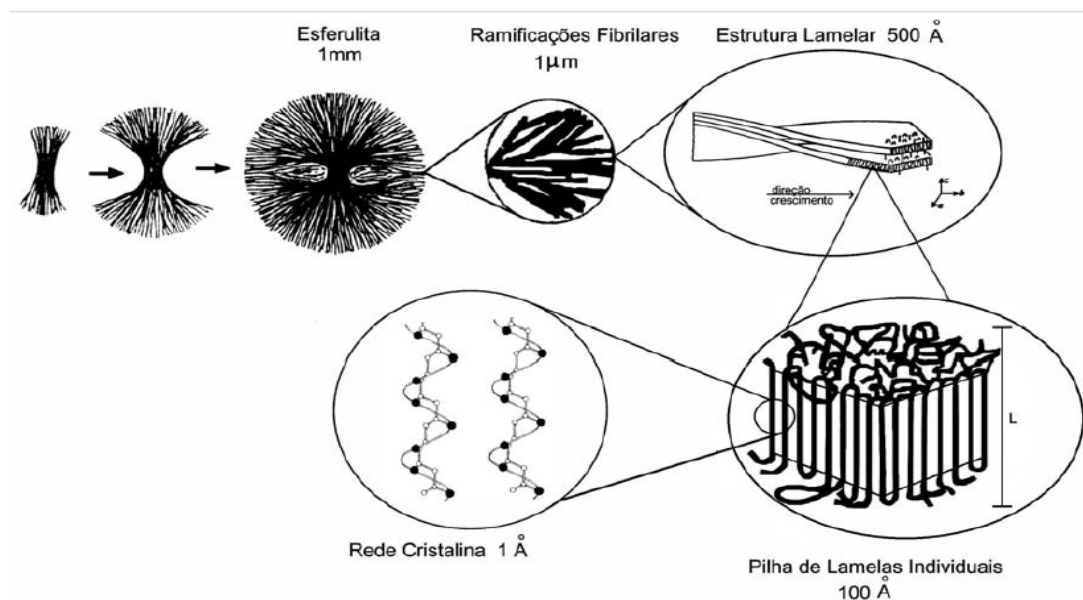
A estrutura do polipropileno é determinada principalmente pela ordem estrutural e tamanho das macromoléculas. A estrutura cristalina do polipropileno foi descoberta por Giulio Natta em 1954, a partir de estudos de difração de raios-X em fibras padronizadas, onde se caracterizou uma célula unitária monoclinica contendo 4 cadeias e 12 unidades de meros, com uma densidade cristalográfica teórica de $0,936\text{g/cm}^3$. A célula unitária do polipropileno sindiotático é ortorrômbica contendo 48 unidades monoméricas com uma densidade cristalográfica de $0,91\text{g/cm}^3$. (MARK et al. 1989; VITTORIA, 1989).

Tabela 3 – Constantes das células unitárias do polipropileno (MARK, 1989)

| Constantes | Isotático | Sindiotático |
|------------|-----------|--------------|
| a (nm) | 0,664 | 1,45 |
| b (nm) | 2,096 | 0,58 |
| c (nm) | 0,650 | 0,75 |
| β | 99°20' | 90° |

O polipropileno isotático cristaliza-se de três formas polimórficas. A forma α ou monoclínica predomina no material cristalizado a partir do fundido. A forma β ou pseudo hexagonal geralmente ocorre a níveis baixos, amenos que certos núcleos heterogêneos estejam presentes ou que a cristalização ocorra num gradiente de ou na presença de foras de cisalhamento. A terceira forma γ ou triclínica é somente observada em polipropileno de baixa massa molar, cristalizado e elevadas pressões.

No polipropileno cristalino as macromoléculas se arranjam numa ordem tridimensional, formando lamela (SAHÃO, 1989; ROSEN, 1982). O tamanho dessas lamelas fica entre 10-50nm e é função das condições de cristalização. Maiores graus podem ser alcançados formando agregados cristalinos chamados esferulitos, como mostra a Esquema 7.



Esquema 7 - fotografia de um esferulito e uma lamela do polipropileno

Fonte: ELIAS, (1984).

As dimensões dos esferulitos podem variar até 100µm. Dependendo das condições de cristalização. O tamanho dos esferulitos é controlado pelo número de núcleos presentes e um maior número de núcleos resulta em esferulitos menores.

As propriedades de polímero dependerão do tamanho e do tipo de estrutura do cristal formado e das taxas relativas de nucleação e crescimento do cristal.

A razão dessas duas taxas pode ser controlada pela variação da taxa de resfriamento e pela incorporação de agentes nucleares. Em geral, quanto menor a estrutura do cristal, melhor será a transparência e menor será a rigidez e a resistência térmica (MARK, 1989; GONÇALVES, 1995).

Os polímeros com esferulitos pequenos e com textura mais fina tendem a se romper em altas elongações após o estiramento. Esferulitos maiores contribuem para a fragilidade do polímero.

O grau de cristalinidade pode ser determinado por solubilização fracional, determinada de densidade, difração de raios-X e Calometria Diferencial de Varredura (DSC) (GONÇALVES, 1995). Outros procedimentos analíticos também podem ser utilizados.

2.15 PROPRIEDADES DO POLIPROPILENO

Sendo uma resina de baixa densidade, o polipropileno oferece um bom equilíbrio quanto às propriedades térmicas, químicas e elétricas acompanhadas de resistências moderada (ALBUQUERQUE, 1990).

O polipropileno possui alta resistência química devido ao seu caráter cristalino. O polipropileno é solúvel apenas a temperaturas elevadas, acima de 80°C nos solventes como xileno, tetralina, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. É atacado por agentes oxidantes como ácido sulfúrico e o ácido nítrico.

Em sua cadeia principal aparecem carbonos terciários, dando-lhe uma tendência a degradação oxidativa, tornando o polímero frágil. Esta ação é promovida por altas temperaturas, luz ultravioleta e tensão mecânica. É necessária a introdução de estabilizantes químicos para sua proteção termooxidativa e fotooxidativa. Isso também pode ser feito, pela adição de 2% de negro de fumo.

2.16 APLICAÇÃO DO POLIPROPILENO

O polipropileno é um dos mais diversificados termoplásticos para aplicação e uso nas indústrias (SAHÃO, 1995).

A combinação das propriedades térmicas e mecânicas do polipropileno reforçado ou não reforçado é bastante usada em aplicações através de moldagem por injeção, por extrusão termoformagem e sopro entre outros tipos de processamento.

Os produtos oriundos de polipropilenos podem ser os mais diversos. Na indústria de embalagens para alimentos como macarrão e biscoitos e *pet food*, nas aplicações de filmes multicamadas sobrepostas pelo processo de co-extrusão, laminação e filmes biorientados. No setor de embalagens para cosméticos e higiene pessoal, envolvendo produtos que variam desde tubo de cotonete a recipientes e tampas com tipo dobradiça e *flip-top* para xampus, cremes e loções em geral. Nos setores de utilidades domésticas, enfatizamos as embalagens para acondicionar alimentos tais como potes, cabos revestindo talheres, talheres e copos descartáveis, vasilhas, pratos. Na indústria de eletrodomésticos, bases e acessórios de equipamentos como batedeiras, cafeteira, máquina de lavar roupa, caixinhas de CD e DVD onde esta última aplicação divide espaço com o poliestireno. No setor têxtil, o polipropileno é empregado em fibras para carpetes e cobertores e em TNT (tecido-não-tecido).

Na indústria automotiva temos pára-choques, cabeçotes de distribuidor, acessórios internos de carros como painéis, bases de câmbio, apoio dos braços das portas, hélices de ventiladores, para luvas e pedais de acelerador (ALBUQUERQUE, 1990; ROSSI, 1991).

Esse termoplástico vem substituindo produtos metálicos e também outros polímeros, incluindo termoplásticos de (ALBUQUERQUE, 1990).

O filme de polipropileno orientado está substituindo o celofane e os polietilenos de baixa densidade em varias aplicações, por não ser tão maleável e podendo ser manuseado por aparelhos convencionais de embalagens, com pequenas modificações. Embalagens de capas de CD é um exemplo desta aplicação.

O polipropileno processado por sopro produz garrafas que não sofrem fragilização ambiental sob tensão e tem boa densidade.

Na construção civil brasileira começam a predominar as partes pré-fabricadas, empregando os materiais plásticos. Polímeros como PP, PVC e o poliestireno expansível – EPS participam desde a concepção estrutural das obras, passando pelas instalações

hidráulicas e elétricas, revestimentos e vedações, produzindo excelentes efeitos arquitetônicos (CARONADO, 1997).

Na construção existem as mantas geotêxteis, tecidos e não tecidos, para restaurar pavimentos e controlar a erosão. As fibras de polipropileno são usadas para agregar o concreto, melhorando suas qualidades mecânicas e impermeabilidade (CARONADO, 1997).

Devido ao seu elevado ponto de amolecimento e à sua inércia química, o polipropileno é adequado para a fabricação de dutos, revestimentos de tanques e tubulações para indústrias químicas, principalmente para as que trabalham em altas temperaturas. As chapas obtidas extrusão podem ser termoformadas a vácuo, usando equipamento adequado.

Processando-se o polipropileno em máquina de extrusão e depois o estirando a frio, obtêm monofilamentos de baixa densidade, alta tenacidade e boa resistência à abrasão. Com esse monofilamento são feitas cordas que flutuam na água mesmo depois de prolongada imersão e são a prova de deterioração. Espera-se o aumento de uso em fiações e tecelagens (MILES, 1975). Também podem ser produzidas ráfias sintéticas com o polipropileno para uso em sacaria industrial.

Os compostos de polipropileno são desenvolvidos utilizando resinas diferenciadas que permitem uma ampla gama de variações estruturais e morfológicas, nos diferentes tipos de homopolímeros e copolímeros produzidos, baseado em tecnologia de controle e acompanhamento, incluindo periféricos sofisticados que garantem uma perfeita homogeneização dos lotes, granulometria e controle de voláteis do produto final (CATALOGO BOREALIS S.A., 2008).

2.17 A JUTA

A juta (*corchorus capsularis*) é uma fibra têxtil vegetal que provem da família das "tiliáceas". Esta erva lenhosa alcança uma altura de 3 a 4 metros e o seu talo tem uma grossura de aproximadamente 20mm, crescendo em climas úmidos e tropicais. A época de semear varia, segundo a natureza e o clima. A colheita é feita entre 4 e 5 meses após semeadura.

A fibra útil é contida entre a casca e o talo interno e a extração é feita pelo processo da maceração. As árvores, cortadas rente ao solo por meio de foices, são limpas das folhas e postas em feixes dentro da água corrente ou parada (CENTRO TÊXTIL DE CASTANHAL, 2008).

A alta temperatura das regiões nas quais é cultivada favorece a fermentação e desta forma consegue-se a maceração em 8 a 10 dias, permitindo assim a fácil retirada da casca da planta e separação da fibra da parte lenhosa do talo. Enxágua-se e empacota-se. As melhores qualidades de juta distinguem-se pela robustez das fibras e pela cor branca e brilhante do talo; as qualidades inferiores distinguem-se pela cor dos talos, que são mais escuros, pelo menor comprimento das fibras, de cor mais acinzentada, além de terem menor resistência. O comprimento das células elementares da juta é em média de 0,80 mm, e o diâmetro varia de 0,01 a 0,03 mm. Analisadas as fibras da juta tem-se: cinza (0,70 %), água (9,72 %), gorduras cerosas (0,36 %), estrato aquoso (1,06 %), celulose (64,10 %) e substâncias incrustantes (24,06 %). Quanto mais robusta, clara e longa é a fibra, melhor é a qualidade.

Como se pode perceber pela análise da juta, o seu principal componente é a celulose, a qual se encontra sob a forma de linho-celulose. A juta tem boa afinidade para corantes diretos e para corantes básicos. É muito higroscópica, regulando a umidade em 12%, o que a torna a matéria prima ideal para a sacaria, evitando tanto o ressecamento quanto a fermentação do produto acondicionado. É uma cultura fácil, acompanhada de uma maceração trabalhosa e de pouco rendimento, sem a utilização de agrotóxicos ou fertilizantes. Introduzida no Brasil por Riyota Oyama, a cultura foi feita inicialmente por japoneses, tornando-se a seguir uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica, sendo um fator fundamental da fixação de mais de 50 mil famílias ao campo. Renovável anualmente, sendo resistente a luz solar, microorganismos, insetos deteriorando-se rapidamente em presença de água. Mantém a tenacidade por longos períodos de tempo quando secas contendo cheiro característico. Também é biodegradável, recebendo o título de fibra do futuro. Por ser muito versátil, ela se apresenta em diversas aplicações tais como bolsas, artesanatos, carpetes, enchimentos, outros (CENTRO TÊXTIL DE CASTANHAL,2008)

Cardagem é o ato ou efeito de cardar, ou seja, de desenredar, destrinçar ou pentear com carda. A carda (cardadeira ou cardadora) é uma máquina que realiza o processo de cardagem utilizado pelas indústrias de fiação e tecelagem no tratamento da fibra a ser utilizada no fabrico de fios. É alimentada pelas mantas do batedor ou os flocos do abridor por vias pneumáticas. Na carda as fibras são alinhadas e unidas até formarem uma manta que, em seguida, na fiação serão estiradas em fitas que serão torcidas até se tornarem fios, ou, no processo de tecido, um conjunto de calandras prensam essa manta (disponível<http://www.ramellapietro.com/products/our_products.htm>.).

A cardagem por máquinas é feita em um dispositivo chamado tambor de cardagem. Estes dispositivos variam em tamanho desde o que facilmente cabe em uma mesa de cozinha até o que ocupa um aposento inteiro. As máquinas de cardagem usadas em engenhos de lã se diferenciam muito pouco de máquinas usadas 20 a 50 anos atrás, e em alguns casos as máquinas são desse tempo. Para lã e fibras semelhantes (de lhama, de alpaca, de cabra, etc.), estas são inseridas em uma série de rolos. Dependendo do tamanho da máquina de cardagem, o número de rolos varia.

As que cabem na mesa da cozinha normalmente têm dois tambores, ou rolos. Um é pequeno, e usado para pegar as fibras e inseri-las no equipamento. O outro tambor apanha as fibras do primeiro e, no processo de transferi-las de um tambor para outro, as fibras são arrumadas e organizadas.

A máquina de cardar que ocupa um aposento inteiro trabalha de maneira muito semelhante, a diferença básica é que as fibras passam por muito mais tambores, que normalmente são menores à medida que elas passam.

Quando as fibras saem do último tambor, estas se encontram em forma de um bastão plano. Se um pequeno tambor de cardagem é utilizado, o bastão tem o comprimento da circunferência do tambor grande, e em geral é o produto final. O tambor grande pegará o bastão e irá desfiá-lo, deixando-o cada vez mais fino, até a espessura desejada.

A técnica de cardagem de jutas, em princípio, não deve ser muito diferente da técnica de cardagem de fibras animais. Segundo o que se constatou em *sites* de cardagem (que não são específicos de cardagem de jutas, mas sim de cardagem em geral), o processo é basicamente o mesmo, ou seja, as fibras passam por rolos compressores, que variam em número e tamanho, com a finalidade de se obter um produto com fibras alinhadas e dispostas de maneira conveniente.

A Fotografia 1 apresenta uma típica plantação de juta:



Fotografia 1: Plantação de juta

Fonte: Centro Têxtil Castanhal

2.17.1 Composição da juta

Observamos abaixo a composição da juta em sua forma natural:

- 65,2% de celulose,
- 22,2% de hemicelulose,
- 10,8% de lignina, além de pequena quantidade de água e gorduras.

2.18 ALGUNS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

Para caracterização dos compósitos obtidos foram utilizados os ensaios de índice de fluidez, dureza, resistência à flexão por três pontos, resistência à tração e resistência ao impacto.

2.18.1 Ensaios de Índice de Fluidez

O índice de fluidez (IF) consiste na extrusão do polímero termoplástico através de uma pequena matriz, sob determinadas condições de temperatura e de massa, que forçam a saída do polímero pela matriz.

A unidade mais usual do índice de fluidez é g/10min, ou seja, a massa extrudada em 10 minutos, conforme norma ASTM D-1238. Para o polipropileno e para os compósitos de polipropileno foi adotada a condição 230°C/2,16kg [AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D – 1238-81].

O instrumento básico é um Plastômetro de extrusão, que opera a uma temperatura predeterminada e consiste num cilindro de aço, fixado numa posição vertical e adequadamente isolado para temperatura de até 300°C. O comprimento do cilindro deve estar entre 115 e 180mm e o diâmetro interno ao longo de todo o comprimento uniforme do cilindro, medindo entre 9500 10000mm, com uma tolerância de $\pm 0,025$ mm. A base do cilindro deve ser termicamente isolada, de tal forma que a área exposta seja inferior a 400mm², recomendando-se que o material isolado usado seja politetrafluoroetileno (com espessura de 3mm), para evitar a aderência do extrudado. A superfície interna do cilindro deve ser conveniente endurecida e não inferior a 500 Vickers de dureza (HV).

O pistão de aço deve ter um comprimento útil que seja no mínimo tão longo quanto o cilindro, com uma cabeça de comprimento $(6,35 \pm 0,10)$ mm. O diâmetro da cabeça do pistão deve ser inferior ao diâmetro interno do cilindro em $(0,075 \pm 0,015)$ mm. É necessário que se conheça o diâmetro da cabeça com exatidão de 0,025mm. A borda inferior da cabeça do pistão deve ter um raio de 0,4mm e a superior deve ter suas bordas cortantes removidas. Acima da cabeça, o pistão deve ter seu diâmetro reduzido para cerca de 9mm. Um pino pode ser inserido na extremidade superior do pistão, a fim de suportar a carga removível, e o pistão deve ser termicamente isolado da carga. O pistão deve ser marcado com dois traços anulares de referencia (que indicam o comprimento do cilindro dentro do qual todos os cortes úteis do extrudado devem ser considerados), separados de 30mm e posicionados de tal forma que o traço superior fique alinhado com o topo do cilindro, quando a distância entre a borda inferior da cabeça do pistão e o topo da matriz for de 20mm.

O controle da temperatura deve ser tal que a temperatura selecionada do material do cilindro possa ser mantida dentro de $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Um controle automático da temperatura é altamente recomendado.

O termômetro de mercúrio ou outro dispositivo para medir a temperatura deve ser localizado tão próximo quanto possível do orifício do cilindro e a 15mm de sua base, possibilitando medições de temperatura a $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

A carga removível, no topo do pistão, consiste num conjunto de pesos que podem ser ajustados de modo que a massa combinada da carga e pistão será calculada conforme equação abaixo, com uma tolerância de $\pm 0,5\%$, calculada em gramas.

$$M = k \cdot \frac{D^2}{d^4}$$

Sendo:

k = fator dependendo da matriz e correspondendo a uma faixa de tensões de cisalhamento;

D = diâmetro da cabeça do pistão, medido em milímetros, com precisão de $\pm 0,25\text{mm}$;

d = diâmetro da matriz, com precisão de $\pm 0,005\text{mm}$.

As medições dimensionais de equipamentos devem ser feitas a uma temperatura de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$.

O índice de fluidez deve ser expresso em dois algarismos significativos, em gramas pelo tempo de referencia, conforme equação a seguir.

$$\text{IF}_{(T,M)} = \frac{s \cdot m}{T}$$

Sendo:

T = temperatura do ensaio ($^{\circ}\text{C}$);

M = carga nominal em quilogramas;

s = tempo de referência em segundos, ou seja, o tempo escolhido no qual os intervalos de tempo de corte são reportados;

m = massa média, em gramas, das amostras.

2.18.2 Ensaio de Tração

Os ensaios de tração foram realizados segundo a norma ASTM D-683-94 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D-638-94), cujo objetivo é fornecer dados da propriedade de tração para o controle e especificação de materiais plásticos, compreendendo a resistência e o alongamento no início do escoamento, a resistência e o alongamento à ruptura, a resistência máxima à tração e o módulo de elasticidade. Como as propriedades de tração podem variar de corpo de prova para corpo de prova, o experimentador deve observar cuidadosamente os fatores de controle.

O módulo de elasticidade sob tração indica a rigidez relativa de um material, sendo determinado a partir do diagrama força x deformação (ou tensão x deformação).

A norma recomenda um condicionamento dos corpos de prova a 23°C e umidade relativa de 560% no mínimo 72 horas antes do ensaio. O condicionamento foi feito em laboratório com atmosfera padronizada, obedecendo às mesmas condições.

Foram testados 10 corpos de prova de cada amostra. A velocidade de deslocamentos da travessa para os compósitos foi de 5,00mm/min.

A máquina de ensaio fornece o diagrama de força x deformação, a partir do qual podem ser calculados os parâmetros para as propriedades dos compósitos sob tração, tais como: módulo de elasticidade, tensão máxima de ruptura, bem como as deformações na ruptura.

O módulo de elasticidade sob tração (E_T) é calculado pela equação a seguir:

$$E_T = (\Delta F / A_0) / (\Delta l / l_0)$$

Sendo:

E_T = módulo de elasticidade sob tração;

$\Delta F / \Delta_0$ = inclinação do segmento linear do diagrama força x deformação;

l_0 = comprimento inicial coberto pelo extensômetro ou comprimento inicial entre marcas;

A_0 = área da secção transversal inicial corpo de prova.

A resistência à tração na ruptura é dada pelo quociente entre a força de ruptura e a área da secção transversal original, determinada pela equação a seguir:

$$\sigma_{tr} = Fr / A_0$$

Sendo:

σ_{tr} = resistência à tração na ruptura;

Fr = força de tração na ruptura;

A_0 = área da secção transversal inicial corpo de prova.

2.18.3 Ensaio de Flexão

Os valores da propriedade de flexão, determinados segundo a norma ASTM D-790-94 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - D-790-94), são especialmente utilizados para o controle de qualidade e especificação de materiais plásticos.

A tensão de flexão pode ser aplicada sobre três pontos ou quatro pontos e nos dados citados nesse trabalho, a mesma foi aplicada sobre três pontos.

O objetivo é determinar a capacidade de um material em resistir à flexão gerada por forças aplicadas perpendicularmente ao eixo longitudinal. As tensões introduzidas devidas às cargas de flexão são combinações de tensões de tração e de compressão. São obtidos os valores da propriedade flexão, calculados em termos de tensão máxima suportada pelo corpo de prova.

Utilizou-se a Máquina Universal de Ensaio Instron modelo 5569, com suporte inferior de dois pontos e um ponto central superior de aplicação da tensão.

Os corpos de prova foram preparados nas dimensões (80 x 10 x 4)mm. Foram testados 10 corpos de prova de cada amostra.

Os corpos de prova foram condicionados a 23°C e 50% de umidade relativa, por no mínimo 72 horas do ensaio. Os ensaios foram conduzidos em laboratórios com atmosfera padronizada, obedecendo às mesmas condições descritas no procedimento de condicionamento.

Para a execução do ensaio, os corpos de prova foram posicionados sobre os dois pontos inferior a uma distancia de 64mm do ponto de aplicação, e a velocidade de movimentação do ponto de tensão foi de 1,3mm/min.

São registrados diagramas força x flecha e a tensão flexão é calculada a partir da equação x a seguir:

$$\sigma_F = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot d^2}$$

Sendo:

σ_F = tensão na superfície externa no ponto médio dos suportes;

P = força num dado ponto do diagrama força x flecha (no centro do corpo de prova);

L = distância entre os suportes;

b = largura do corpo de prova;

d = espessura do corpo de prova.

O cálculo do módulo de elasticidade sob flexão foi efetuado a partir do coeficiente angular do segmento linear do diagrama força x flecha, sendo calculado pela equação a seguir:

$$E_f = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot d^2}$$

Sendo:

E_f = módulo de elasticidade sob flexão (módulo de rigidez)

L = distância entre os suportes;

b = largura do corpo de prova;

d = espessura do corpo de prova.

m = coeficiente angular do segmento linear do diagrama força x flecha.

2.18.4 Ensaios de Impacto Izod

A resistência ao impacto descrita pela norma ASTM D-256 (AMERICA SOCIETY FOR TESTING), permite a determinação da energia consumida para romper o corpo de prova por uma solicitação de impacto.

A energia requerida para quebrar o corpo de prova foi a soma das energias necessárias para deformá-lo, para iniciar a ruptura, para propagar a fratura através de sua secção transversal, e a energia necessária para alcançar a sua destruição final. A energia perdida através da fricção e vibração do aparelho e mínima e neste trabalho foi desprezada.

O ensaio de impacto Izod com entalhe permite expressar os resultados em função da energia cinética consumida pelo corpo de prova quando da quebra do mesmo.

Conforme recomendada a norma, o condicionamento dos corpos de prova a 23°C e 50% de umidade relativa, foi feito por no mínimo 72 horas antes do início do ensaio.

O aparelho padrão consiste de uma sólida base, na qual se encontra acoplado um pendulo de martelo e um local para o posicionamento do corpo de prova. São registrados os valores de energia cinética necessária para o rompimento do corpo de prova, ou seja, a energia correspondente ao ponto onde o pendulo ultrapassa a base está o corpo de prova.

O valor obtido na escala da máquina de impacto deve ser dividido pela espessura do corpo de prova ao longo do entalhe. O valor resultante é a resistência necessária para romper o polímero sob impacto, cujos dados são obtidos em Joule/metro (J/m).

Os corpos de prova do ensaio de impacto Izod foram fixados verticalmente em relação à base do equipamento, sofrendo então o impacto do pêndulo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados os materiais e os métodos utilizados neste trabalho.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados na produção dos compósitos foram:

- Polipropileno reciclado (pós-consumo)
- Polipropileno virgem (H301 – Braskem)
- Fibra de juta (Sisalsul)
- Hidróxido de sódio (NaOH) comercial
- Anidrido maleico (OVERAC)

3.1.1 Fibra de Juta

A Fotografia 2 apresenta a fibra de juta pós-colheita:



Fotografia 2: Fio de fibra de juta (pós-colheita)

A Fotografia 3 apresenta a fibra de juta em forma de fio industrializada:



Fotografia 3: Fio de juta (industrializada)

3.1.2 Polipropileno reciclado

O polipropileno reciclado pós-consumo apresentado na Fotografia 4 e utilizado foi na forma de grãos e cedido pela empresa nova Piramidal Termoplásticos Ltda., em sacos de 25 kg com as seguintes características:

- Descrição e grade: Polipropileno reciclado preto (tipo A)
- Índice de fluidez (230°C/2,16kg): 5 a 11 g/10min
- Densidade: 0,902 a 0,905 g/cm³
- Temperatura de fusão: 155 a 170°C
- Temperatura de amolecimento Vicat: 156°C

Abaixo a Fotografia 4 apresenta o granulado de polipropileno reciclado pós-consumo utilizado:

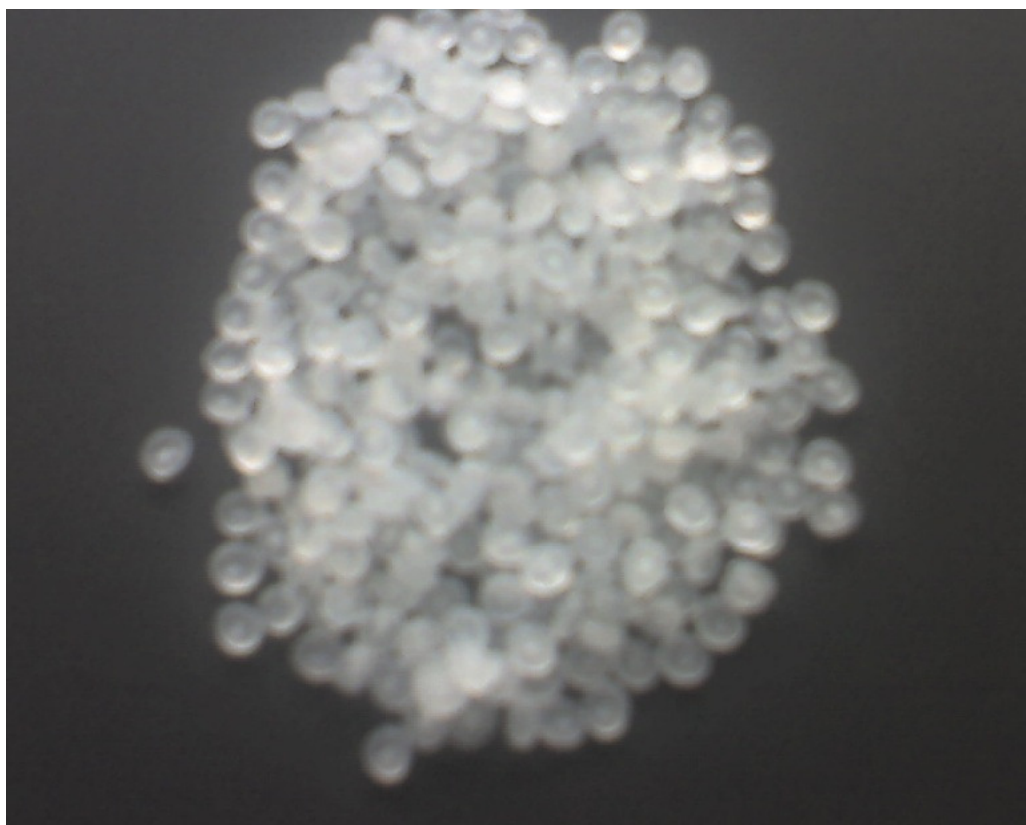


Fotografia 4: Polipropileno reciclado preto em forma de grãos

Um outro tipo de polipropileno virgem granulado também foi utilizado nos experimentos. Abaixo seguem algumas das características do PP virgem:

- Descrição e grade: Polipropileno virgem H301 (Braskem)
- Índice de fluidez (230°C/2,16kg): 8,0 a 12,0 g/10min
- Densidade: 0,905 g/cm³
- Temperatura de fusão: 155 a 170°C
- Temperatura de amolecimento Vicat: 153°C
- Dureza Rockwell R: 90
- Resistência à tração: 32 MPa
- Módulo de flexão: 1,51 (GPa)
- Resistência ao impacto Izod sem entalhe: 30 (J/m)

Abaixo a Fotografia 5 do granulado de PP virgem:



Fotografia 5: Granulado de Polipropileno H301 (Braskem)

3.2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para o desenvolvimento deste trabalho será apresentada a seguir.

3.2.1 Tratamento superficial das fibras e incorporação da mesma à matriz de polipropileno reciclado e virgem

O tratamento (mercerização) da fibra de juta foi por imersão em solução de NaOH a 10%. Após o tratamento, a fibra com comprimentos entre 2 a 5 cm, foi submetida à secagem por 48 horas à 80°C. Foram pesadas diferentes quantidades da fibra em uma balança analítica, de maneira a obter diferentes porcentagens de fibra de juta na matriz de polipropileno reciclado, ou seja: 10%, 20% e 30%.

A incorporação da fibra à matriz foi feita através do processo de calandragem, em calandra Mecanoplast Modelo C-400, motor de 8 cavalos e 5400W de potência. A temperatura de processamento foi de aproximadamente 190°C, para que a incorporação apresentasse uma distribuição mais homogênea da carga na matriz polimérica, sempre com o cuidado de se evitar a degradação dos materiais. Após este processo de calandragem, foi utilizado um moinho de facas, da WEG SEIBT modelo MGHS 4/180, para trituração do produto obtido no processamento por calandragem, transformando-o em grânulos irregulares.

A Fotografia 7 apresenta a fibra de juta utilizada nos compósitos obtidos antes do tratamento de mercerização em NaOH:



Fotografia 7: Fibra de juta antes do tratamento (mercerização)

Na Fotografia 8 a fibra de juta após o tratamento de mercerização em NaOH:



Fotografia 8: Fibra de juta depois do tratamento (mercerização)

3.2.2 Preparação das amostras pelo processo de extrusão e injeção

A partir do item anterior, seguiu-se para o processo de extrusão, no Reômetro Haake 5000, adaptado com uma mini-extrusora, composta por 4 zonas de aquecimento, onde a finalidade foi obter uma melhor uniformidade e homogeneização do compósito. Na sequência, o granulado formado foi submetido à secagem por 4 horas à 90°C em estufa, para retirar a umidade contida no granulado formado. O passo seguinte foi o de injetar o material, utilizando-se uma injetora da marca ROMI Primax 65R Control Máster 8, para confecção dos corpos de prova para posterior caracterização. Na sequência foi feita a mesma formulação substituindo a matriz de polipropileno reciclado por uma matriz de polipropileno virgem.

Uma vez homogeneizados, foram acondicionados no funil da extrusora e processados de acordo com as condições apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros operacionais utilizados na extrusora

| Extrusora | °C |
|-------------------|-----------|
| Temp. zona 1 | 150 |
| Temp. zona 2 | 160 |
| Temp. zona 3 | 190 |
| Temp. no cabeçote | 180 |

Depois de sair da extrusora, os fios de polímero fundido foram mergulhados numa banheira de 2m de comprimento por 20cm de largura e 20cm de profundidade, com água corrente na temperatura ambiente. Uma vez endurecidos e antes de resfriar completamente, os fios de polímeros ao sair do banho de água, entraram na granuladora. Antes dos compósitos formados serem injetados, a rosca e o bico da injetora foram limpos pela passagem de PP virgem. Quando o material que saía da injetora estava limpo, iniciava-se então a injeção do próximo compósito formado, obedecendo uma ordem de material virgem com menor concentração de fibra para maior concentração de fibra e material reciclado com menor concentração de fibra para maior concentração de fibra. Esta operação foi repetida até que todos os corpos de prova tivessem sido injetados. Na Tabela 5, segue os parâmetros operacionais utilizados na injetora.

Tabela 5: Parâmetros operacionais utilizados na injetora

| Injetora ROMI | °C |
|-----------------------------|-------------|
| Temp. zona 1 | 165 |
| Temp. zona 2 | 190 |
| Temp. zona 3 | 220 |
| Temp. zona 4 | 210 |
| Média da pressão de injeção | 50 bar |
| Tempo de resfriamento | 8 segundos |
| Diâmetro da rosca | 25 mm |
| Recalque | 45 |
| Pressão de recalque | 70 bar |
| Ciclo de injeção | 16 segundos |

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados obtidos e discussão dos mesmos.

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Ensaios de Resistência à Tração

Para facilitar a leitura das tabelas foi introduzida a seguinte legenda:

PPRST+10FJCT: Polipropileno reciclado sem tratamento + 10% fibra de juta com tratamento em NaOH

PPRST+20FJCT: Polipropileno reciclado sem tratamento + 20% fibra de juta tratada com tratamento em NaOH

PPVST+10FJCT: Polipropileno virgem sem tratamento+ 10% fibra de juta com tratamento em NaOH

PPVST+20FJCT: Polipropileno virgem sem tratamento+ 10% fibra de juta com tratamento em NaOH

PPRP: Polipropileno reciclado puro

PPRCT+20FJST: Polipropileno reciclado com tratamento em anidrido maleico (adicionada certa %) + 20% de fibra de juta sem tratamento

PPRST+30FJST: Polipropileno reciclado sem tratamento + 30% de fibra de juta sem tratamento

PPRST+20FJCT: Polipropileno reciclado sem tratamento + 20% de fibra de juta com tratamento em NaOH



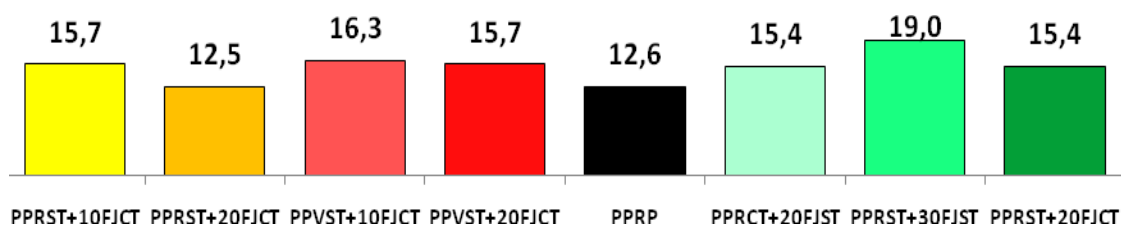
Fotografia 9: Máquina Universal de Ensaios Q Test

A resistência à tração foi realizada na Máquina Universal de Ensaios Q Test. Este ensaio possibilitou a análise da tensão no escoamento. Ela foi determinada de acordo com a norma ASTM D-638. Os dados dos ensaios são apresentados na Tabela 6.

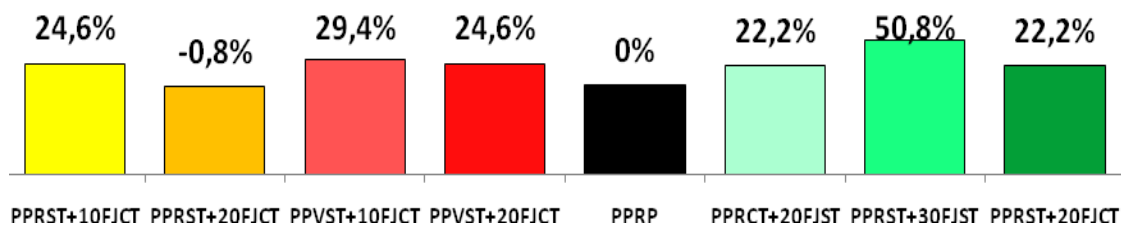
Tabela 6: Ensaios de tração para os compósitos formados (MPa).

| Amostra | Tensão no escoamento (MPa) | | |
|----------------|-----------------------------------|---|-----|
| PPRST+10FJCT | 15,7 | ± | 1,0 |
| PPRST+20FJCT | 12,5 | ± | 0,9 |
| PPVST+10FJCT | 16,3 | ± | 1,1 |
| PPVST+20FJCT | 15,7 | ± | 1,0 |
| PPRP | 12,6 | ± | 0,6 |
| PPRCT+20FJST | 15,4 | ± | 0,6 |
| PPRST+30FJST | 19,0 | ± | 0,7 |
| PPRST+20FJCT | 15,4 | ± | 0,6 |

O Gráfico 7 apresenta os ensaios de tração para os compósitos formados (MPa):



O Gráfico 8 apresenta os ensaios de tração para os compósitos formados (%):



4.1.2 Índice de Fluidez



Fotografia 10: Plastômetro – DSM modelo MI-3

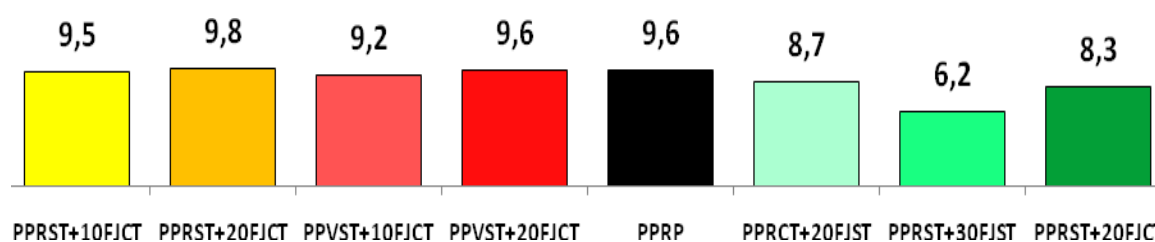
O índice de fluidez é um ensaio simples mas muito importante na caracterização de polímeros, pois podemos avaliar se houve alteração na propriedade

reológica da viscosidade do material, e saber para qual processo de transformação o material pode ser direcionado. O ensaio de índice de fluidez foi realizado no plastômetro de marca DSM, pela norma ASTM D1238 na condição estabelecida - 230°C/2,16kg. A tabela 7 mostra os resultados obtidos no compósito.

Tabela 7: Ensaio de índice de fluidez para os diferentes compósitos obtidos.

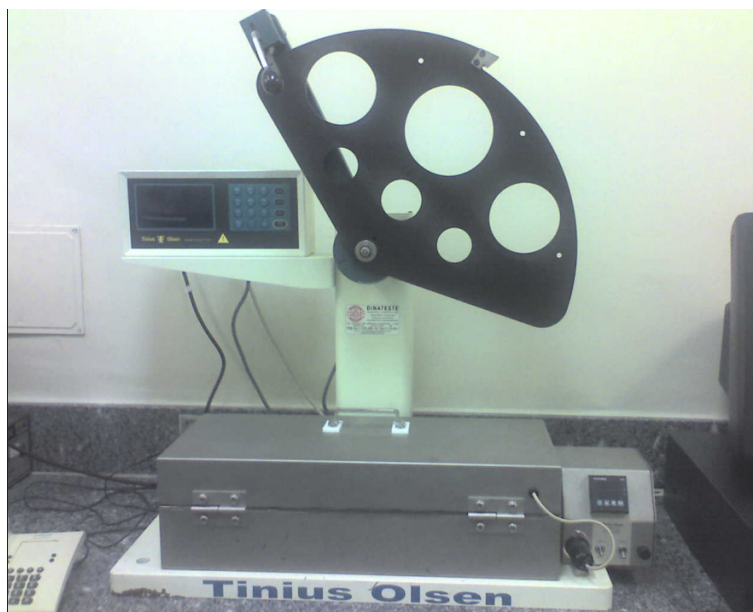
| Amostra | Índice de fluidez (g/10min) | |
|--------------|-----------------------------|-------|
| PPRST+10FJCT | 9,5 | ± 0,2 |
| PPRST+20FJCT | 9,8 | ± 0,2 |
| PPVST+10FJCT | 9,2 | ± 0,2 |
| PPVST+10FJCT | 9,6 | ± 0,2 |
| PPRP | 9,6 | ± 0,2 |
| PPRCT+20FJST | 8,7 | ± 0,3 |
| PPRST+30FJST | 6,2 | ± 0,3 |
| PPRST+20FJCT | 8,3 | ± 0,2 |

O Gráfico 9 apresenta os ensaios de índice de fluidez para os diferentes compósitos:



4.1.3 Ensaio de Resistência ao Impacto Izod sem entalhe

Para o teste de resistência ao impacto, foi utilizado o equipamento Tinius Olsen Modelo 92T com display de sistema de Impacto modelo 892, de acordo com a norma ASTM D-256 na condição de 23°C, no Laboratório de Caracterização e Ensaio de Materiais da UPM.



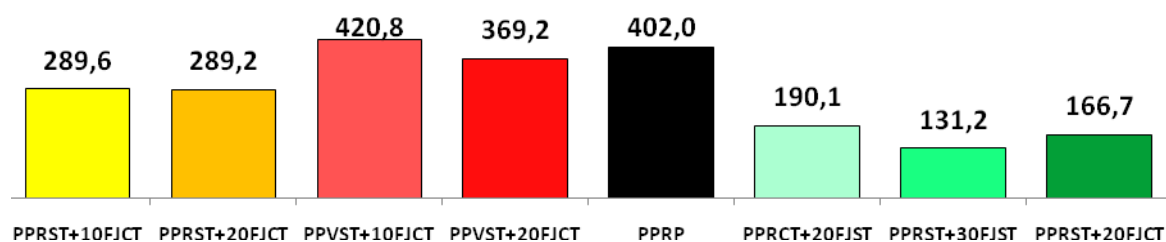
Fotografia 11: Tinius Olsen Modelo 92T

Foram obtidos resultados da média de 15 corpos de prova ensaiados para cada composição conforme mostrado na tabela 8.

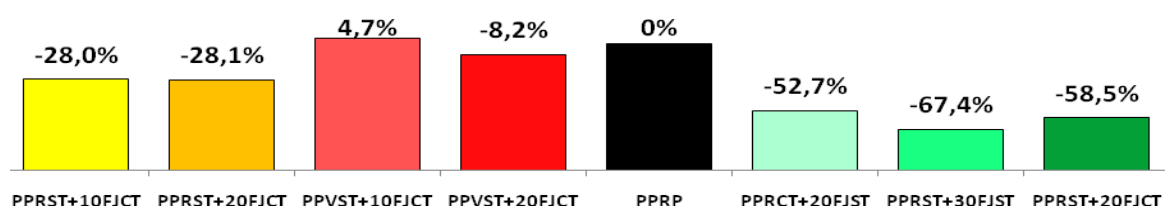
Tabela 8: Ensaio de impacto Izod sem entalhe para os compósitos formados:

| Amostra | Resistência ao impacto Izod sem entalhe (J/m) |
|----------------|--|
| PPRST+10FJCT | 289,6 ± 36,7 |
| PPVST+10FJCT | 420,8 ± 51,1 |
| PPRST+20FJCT | 289,2 ± 42,3 |
| PPVST+20FJCT | 369,2 ± 34,0 |
| PPRP | 402,0 ± 74,1 |
| PPRCT+20FJST | 190,1 ± 33,5 |
| PPRST+30FJST | 131,2 ± 11,6 |
| PPRST+20FJCT | 166,7 ± 23,8 |

O Gráfico 10 apresenta os ensaios de impacto Izod sem entalhe para os compósitos formados (J/m):



O Gráfico 11 apresenta os ensaios de impacto Izod sem entalhe para os compósitos formados (%):



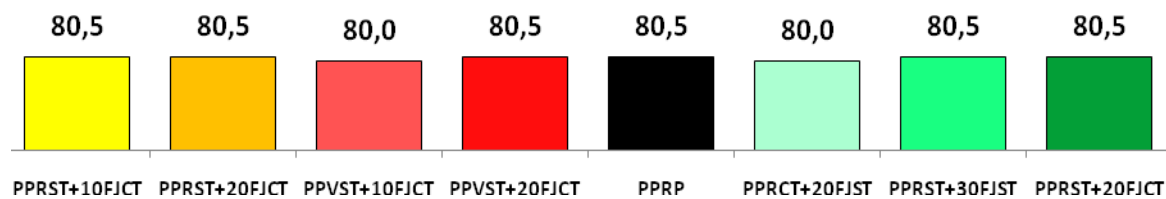
4.1.4 Ensaios de Dureza

A dureza é uma medida de resistência de um material à deformação permanente (plástica). O ensaio de dureza Shore D, conforme a norma ASTM D-2240, mede a resistência oferecida pelo material, na sua superfície, à penetração de uma agulha de 1mm. Os resultados dos ensaios de dureza encontram-se apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Ensaios de dureza para os compósitos formados:

| Amostra | Dureza Shore D |
|--------------|----------------|
| PPRST+10FJCT | 80,5 ± 0,6 |
| PPVST+10FJCT | 80,0 ± 0,2 |
| PPRST+20FJCT | 80,5 ± 0,6 |
| PPVST+20FJCT | 80,5 ± 0,2 |
| PPRP | 80,5 ± 0,6 |
| PPRCT+20FJST | 80,0 ± 0,2 |
| PPRST+30FJST | 80,5 ± 0,6 |
| PPRST+20FJCT | 80,5 ± 0,2 |

O Gráfico 12 apresenta os ensaios de dureza para os compósitos formados:



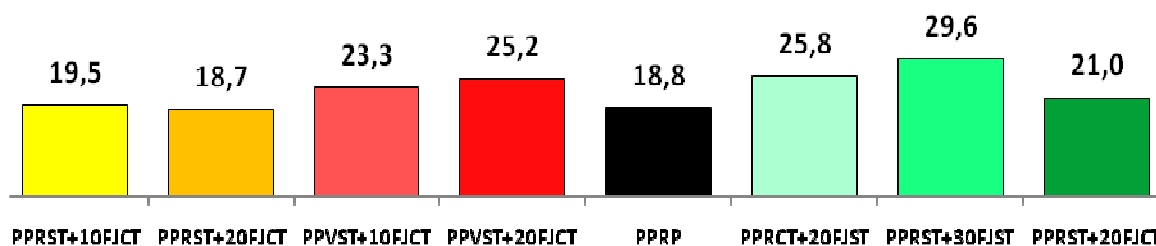
4.1.5 Ensaios de Flexão

Os ensaios de flexão em três pontos foram realizados de acordo com a norma ASTM D-790. A tabela 10 mostra os resultados obtidos para o ensaio de flexão nos compósitos.

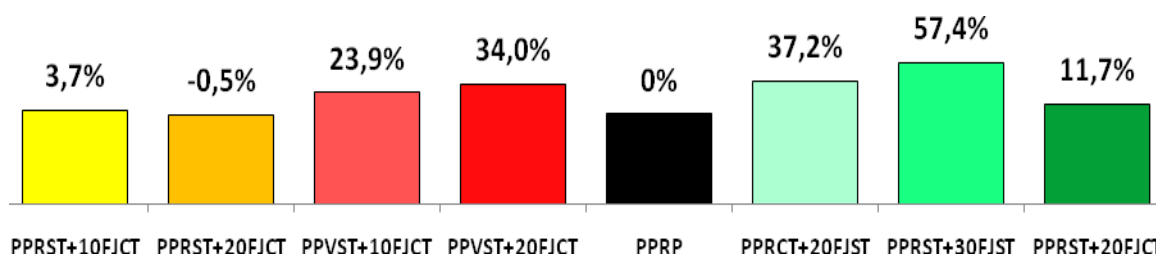
Tabela 10: Ensaios de flexão para os compósitos formados:

| Amostra | Resistência à flexão (MPa) |
|--------------|----------------------------|
| PPRST+10FJCT | 19,5 ± 3,1 |
| PPVST+10FJCT | 23,3 ± 0,9 |
| PPRST+20FJCT | 18,7 ± 0,9 |
| PPVST+20FJCT | 25,2 ± 0,6 |
| PPRP | 18,8 ± 0,2 |
| PPRCT+20FJST | 25,8 ± 0,9 |
| PPRST+30FJST | 29,6 ± 0,8 |
| PPRST+20FJCT | 21,0 ± 0,5 |

O Gráfico 13 apresenta a resistência à flexão para os compósitos formados (MPa):



O Gráfico 14 apresenta a resistência à flexão para os compósitos formados (%):



4.2 DISCUSSÕES

Para os resultados de resistência à tração, chegou-se à conclusão que com o aumento da concentração de fibras nos compósitos, ocorre uma melhora nessa propriedade, o mesmo não correndo quando se utiliza PP modificado com anidrido maleico e fibra de juta tratada (para a concentração de estudo em 20% de fibra de juta incorporada). Comparando os resultados obtidos nos ensaios com PP reciclado puro, com PP reciclado mais 20% de fibra de juta tratada, e PP enxertado mais 20% de fibra de juta sem tratamento, observou-se que não houve alterações significativas.

Com relação ao índice de fluidez obtiveram-se os resultados esperados, ou seja, com o aumento da concentração de fibras nos compósitos, houve uma diminuição da fluidez.

Para os ensaios de resistência ao impacto, os mesmos tiveram uma tendência esperada, ou seja, com o aumento da concentração de fibras, os compósitos tornaram-se mais rígidos, tendo como consequência, uma diminuição da energia absorvida para a fratura dos corpos de prova.

Os ensaios de dureza não apresentaram alterações significativas nos resultados obtidos, tendo como hipótese a distribuição heterogênea das fibras pela matriz.

Para os ensaios de resistência à flexão em três pontos, observou-se que essa propriedade é melhorada com o aumento da concentração de fibras nos compósitos. Comparando-se a resistência à flexão, para mesma concentração de fibras (20%), envolvendo compósito com PP enxertado, e sem PP enxertado, observou-se que houve uma elevação de aproximadamente 23%, quando se utiliza o PP enxertado, para a obtenção do compósito.

5. CONCLUSÕES

Os resultados das análises realizadas mostraram que os testes de resistência ao impacto apresentaram muitas diferenças entre os compósitos obtidos. O que é mais provável para contribuição dessas diferenças, está em possíveis defeitos de processamento, ou seja, corpos de prova com bolhas internas. Observou-se, também, que nas propriedades de dureza, os materiais mantiveram essas propriedades praticamente inalteradas. A fibra de juta, por estar distribuída aleatoriamente pela matriz de polipropileno, pode ter sido um dos fatores que contribuíram para que esta propriedade de dureza mantivesse praticamente inalterada.

Na seqüência do trabalho, observou-se através dos ensaios de índice de fluidez, que o aumento da concentração de fibras provoca uma diminuição da fluidez dos compósitos.

Os resultados obtidos neste trabalho, nas condições de ensaio utilizadas, permitem concluir que:

Nos ensaios de tração, observaram-se que as concentrações de 20% para 30% de fibra de juta incorporada no PP reciclado, tiveram resultados esperados que foram o seu acréscimo.

Podem-se aliar os fatores de reciclagem do PP reciclado, o qual sendo ele oriundo de produtos de diversos segmentos considera-se algum tipo de contaminação por outros polímeros ou até mesmo outros produtos. Possivelmente, a contaminação, à interação entre o polímero com a fibra natural pode ter sido fraca nos ensaios envolvendo as concentrações de 10 e 20% de fibra de juta tratada e estas contribuindo para estes resultados (para os compósitos PPRST+10FJCT e PPRST+20FJCT). Entre os vários processos que o compósito passou, submetido a diversos perfis temperaturas e cisalhamento, também contribuiu para a degradação térmica e mecânica dos compósitos obtidos a partir da resina reciclada. Já numa segunda etapa do trabalho, os resultados obtidos com a eliminação de alguns processos como a extrusão seguido de secagem, obtivemos os resultados esperados que foram: resistência à tração e flexão aumentando conforme a quantidade de fibra adicionada à matriz e o decréscimo da resistência ao impacto sem entalhe e índice de fluidez (para os compósitos PPRCT+20FJST, PPRST+30FJST e PPRST+20FJCT)

6 PROPOSTAS PARA NOVOS TRABALHOS

A continuidade do trabalho com novas concentrações de fibras na matriz polimérica reciclada, e também a utilização de agentes de acoplagem, como o PP enxertado com anidrido maleico, possivelmente, levará a resultados que contribuirão para uma melhor avaliação do emprego da fibra de juta como reforço para o polipropileno reciclado. A proposta para a continuação do trabalho envolve a elevação das concentrações de fibras de juta para até 50%.

Outra proposta para continuação do trabalho é empregar um polipropileno copolímero de fluidez maior para analisar a resistência ao impacto e a viscosidade do compósito formado. Não se descarta também a utilização de um tipo de modificador de impacto para analisar os resultados.

As análises de microscopia também devem ser utilizadas nos trabalhos futuros para um melhor entendimento das interações dos compósitos formados e a se formar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-SHARKH, B. F, et al, Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. *Polymer Degradation and Stability*, v 85 pp 967-973, 2004.

ALBUQUERQUE, J. A. C. *O Plástico na Prática*, Sagra Livraria -Editora e Distribuidora Ltda, Porto Alegre, 1990.

Amarnaathh Enterprises. Home. Disponível em:

<<http://www.amarnaathhenterprises.com/>>. Acesso em: 20 jan. 2009.

AMERICAN STANDARDS FOR TESTING MATERIAIS. ASTM D3039: Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. Philadelphia, 2000.

AMERICAN STANDARDS FOR TESTING MATERIAIS. ASTM D638: Standard methods of evaluating tensile properties for plastics. Philadelphia, 2000.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D – 1238-81, Standard Test Method for Melt Flow Index.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D – 638-94, Standard Test Method for Tensile Property of Plastics.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D – 695-95, Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D – 790-94, Standard Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS – ASTM D – 790-94, Standard Test Method for Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Materials.

BOGOEVA-GACEVA, G, et al. Eco-friendly polymer composites based on polypropylene and kenaf fibers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECO-COMPOSITES. 3rd., June 20 and 21st , 2005. Stockholm Sweden. Royal Institute of Technology.

BRAHMAKUMAR, M. Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites. *Composite Science and Technology*, v 66, pp. 1813-1824, 2006.

BRÉARD, J. BIZET, L. MONTRILAY, N. BAILEY, C. *Revue des composites et des matériaux avancés*, v. 16, n. 1, pp.101-103, 2006.

BUSNEL, F. ERIC, B. BAILEY, C. GROHENS, Y. *Revue des composites et des matériaux avancés*, v. 16, n. 1 pp.75-87, 2006.

CALLISTER Jr. W D. *Ciência e Engenharia dos Materiais: uma Introdução*. 5^o Edição, Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 2002; pp 360 – 386.

CALLISTER Jr. W D. *Materials Science and Engineering: an Introduction*. 4th. Edition, New York: John Wiley & Sons, Inc. 1996; pp. 510-513.

CARONADO, J. *Plásticos na Construção: Obras Públicas e Cíveis Elevam a Demanda; Plástico Moderno* n° 282, p. (8-20), novembro/1997.

Catálogo Borealis S. A. – Compostos de Polipropileno, 2005.

Catálogo da Polibrasil: Informações Técnicas sobre o Polipropileno, 2006.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. São Paulo. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br>> Acesso em 25 maio 2008.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. São Paulo. Disponível em:

<<http://www.cempre.org.br>> Acesso em: 04 set. 2008.

CERQUEIRA, M. H de. Artigos Técnicos da Tetra Pak: Placas e Telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak. Engenheiro de Desenvolvimento Ambiental – Tetra Pak.

CHAWLA, K. K. Composites materials: science and engeneeres; New York: Springer - Verlag, 2001

CONSUMIDOR É QUEM DITA. Packstar Embanews, São Paulo, pp 22-31, 1998.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos. Revista de Administração de Empresas, v. 35, n. 3, p. 88-93, 1995.

DOAN, T. T. Jute/polypropylene composites I. Effect of matrix modification. Composite Science and Technology, v 66, pp. 953-963, 2006.

ELIAS, H. G. Stucture and Properties, In: Macromolecules, 1 ed.,New York, Plenum Press, 1984.

GONÇALVES, N. I. Efeito do Tratamento Superficial da Wolastonita na Modificação do Polipropileno, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos – SP,1995.

GOUANVÉ, F. MARAIS,S. MÉTAYER, M. MORVAN, C. PONCIN-EPAILLARD, F. Revue des composites et des matériaux avancés, v.16, n. 1, pp. 115-128, 2006.

HANLON, J. F. Handbook of package engineering. New York: McGraw-Hill, pp 1-20, 1971.

HIGGINS, R.A. Properties of engineering materials. London: Arnold, 1994.

HUDA, M. S. Chopped glass and recycled newspaper as reinforcement fibers in injection molded poly(lactic acid) (PLA) composites: A comparative study. Composite Science and

Technology, v 65, pp. 1813-1824, 2005.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa nacional de saneamento básico de 2000. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 27 maio 2008.

JACOB M. Mechanical properties of sisal/oil plam hybrid fiber reinforced natural rubber composites. Composites Science and Technology, v 64, pp 955-965. 2004.

JOSHI, S. V. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? Composites Part A: applied science and manufacturing, v35, pp. 371-376, 2004.

KUMAR, A. P. Degradability of composites, prepared from ethylene-propylene copolymer and jute fiber under accelerated aging and biotic environments. Materials Chemistry and Physics, v 92, pp. 458-469, 2005.

LUND, H. F. Recycling Handbook, Second Edition, New York: The Mc Graw – Hill, 2001. 500 p.

LUZ, S.M.; GONÇALVES, A. R.; DEL´ARCO JR, A. P. Microestrutura e Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno Reforçado com Celulose de Bagaço e Palha de Cana. Revista Matéria, v. 11 (2), pp. 101-110, 2006. Disponível: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10700/>>. Acesso em: 15 jan. 2009.

MANO, E. B. Introdução a Polímeros, Editora Edgar Blücher Ltda, São Paulo – SP, 1985.

MARK, H. F.; BIKALES, N. M.; OVERBEGGER, C. G.; MENGES, S. G. Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, 2 ed. John Wiley and Sons, v. 13, New York, 1989.

MILES, D. C.; BRISTON, J. H. Tecnologia dos Polímeros, EDUSP, São Paulo-SP, 1975.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. São Paulo. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res01/res27501.html>> Acesso em: 14 jul. 2007.

NARDIN, M. *Revue des composites et des matériaux avances*, v. 16, n. 1, pp. 49-62, 2006.

NEAGU, R. C. The effect of different wood species and pulping process on the reinforcement of wood fibre/thermoset composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECO-COMPOSITES. 3rd., June 20 and 21st , 2005. Stockholm Sweden. Royal Institute of Technology.

NECHWATAL A., The Effect of Different Cellulose Fibers in Rubber. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECO-COMPOSITES. 3rd., June 20 and 21st , 2005. Stockholm Sweden. Royal Institute of Technology.

NISHINO, T. and ARIMOTO, N., All-cellulose composite by partial dissolving of fibers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECO-COMPOSITES. 3rd., June 20 and 21st , 2005. Stockholm Sweden. Royal Institute of Technology.

PEDELHES, G. J; *Embalagem: Funções e Valores na Logística*. GELOG – UFSC: Grupo de Estudos Logísticos Universidade Federal de Santa Catarina. pp 1-6, 2005.

PEIJS, T., All-polymers composites. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECO-COMPOSITES. 3rd., June 20 and 21st , 2005. Stockholm Sweden. Royal Institute of Technology.

RAMELLA, P – *Carding Machines. Our products*. Disponível:
<http://www.ramellapietro.com/products/our_products.htm>. Acesso em: 21 jan. 2009.

RODRIGUES, F. *Principles of Polymer Systems*, 2 ed. London, Hemisphere Publishing Corporation, 1982, 575 p.

ROSEN, S. L. *Fundamental Principles of Polymeric Materials*. 2 ed., London, Wiley Interscience Publication, 1982, 346 p.

ROSSI, A. R. O desempenho de Espécies Minerais em Promover Características de Reforços Termoplásticos, Anais do I Congresso Brasileiro de Polímeros, p (454-461), São Paulo – SP, 1991.

SAHÃO JR. S. Polipropileno Reforçado em Sistema Híbrido Fibro-Particulado: Fibra de Vidro/Ca CO₃. Dissertação de Mestrado. São Carlos, Programa de Pós-Graduação da UFSCar, 1995, 142p.

SÈBE, G. Revue des composites et des matériaux avances, v. 16, n. 1, pp. 89-100, 2006.

SEBRAE/RJ – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas no Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.sebraerj.com.br>> Acesso em: 14 maio 2008.

STAEL, G.C. Impact behavior of sugarcane bagasse wast-EVA composites. Polymer Testing, v 20, pp. 853-872, 2001.

VITTORIA, V. Properties of Isotatic Polypropylene, cap. 15, In: Handbook on Polymers Science Technology, Marcel Dekker, Inc., New York, 1989.

ZANIN, M.; MANCINI, D. Resíduos Plásticos e Reciclagem: Aspectos gerais e tecnologia. 1º edição. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos: EduFSCar, 2004, v 1, capítulo 1. pp 15 – 38.

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](#)