



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS SÃO GABRIEL  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

# **COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Simone Simon**

**São Gabriel, RS – Brasil.  
2011**

# COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO

**Simone Simon**

Monografia apresentada à Comissão de Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Pampa — UNIPAMPA, *Campus* São Gabriel, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Engenheira Florestal**.

**Orientadora: Daniela Silva Lilge**

**São Gabriel, RS, Brasil  
Junho de 2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA  
CAMPUS DE SÃO GABRIEL  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso

**COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO**

elaborado por  
**Simone Simon**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Engenheira Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Daniela Silva Lilge, Msc.**  
(Presidente/Orientadora)

---

**Ediane Andreia Buligon, Eng. Ftal.**  
(UFSM)

---

**Magnos Alan Vivian, Eng. Ftal.**  
(UFSM)

São Gabriel, 30 de junho de 2010.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que esteve sempre presente em minha vida.

Aos meus pais que sempre me apoiaram, e me deram incentivo.

Ao meu filho, minha razão de viver.

À minha orientadora Daniela S. Lilge, pelo apoio e orientação.

Aos demais amigos e parentes que de alguma forma me ajudaram na conclusão deste trabalho.

Agradeço.

## **RESUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
Curso de Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal do Pampa

### **COMPÓSITOS MADEIRA-PLÁSTICO**

AUTORA: SIMONE SIMON

ORIENTADORA: DANIELA SILVA LILGE

Data e Local da Defesa: São Gabriel, 30 de junho de 2011.

O aumento do lixo domiciliar e a falta de local para acomodar estes resíduos, torna necessária a elaboração de alternativas que minimizem o impacto destes resíduos no meio ambiente. Os resíduos plásticos, assim como, os resíduos de madeira proveniente de fábricas e serraria, foram ferramentas de estudo de pesquisadores que usaram da tecnologia para a produção de novas idéias. Uma das alternativas de reaproveitamento foi a junção do plástico com a madeira, trazendo ao mercado consumidor inovações tecnológicas e alternativas de produtos, minimizando o impacto destes resíduos ao meio ambiente. O objetivo do presente trabalho é revisar a literatura com a finalidade de esclarecer como os plásticos podem ser utilizados, em conjunto com a madeira, na obtenção de novos produtos com diversos usos.

**Palavras-chave:** Resíduos de serrarias. Classificação de resíduos madeireiros.  
Aproveitamento de resíduos madeireiros.

## **ABSTRACT**

Course Conclusion Work  
Graduation Course in Forest Engineering  
Federal University of Pampa

### **WOOD-PLASTIC COMPOSITES**

**AUTHORESS: SIMONE SIMON**

**ADVISOR: DANIELA SILVA LILGE**

Date and Place of Defense: São Gabriel, June 30<sup>th</sup>, 2011.

The increase of domestic waste and the non-existence of a properly place to store these residues have leaded us to elaborate this paper with alternatives to minimize the impact discarded materials have on the environment. This way, the goal of this paper is, by doing some research on the available bibliography, try to explain in which ways plastic can be reutilized as well as wood residues that can generate many other products. Plastic and wood residues have been studied by researchers that use a great deal of new technologies to produce items from recycling products. It's important to say that each residue has a specific recycling method. Plastic, for example, must receive special treatment in order to produce a high quality new product. We also have the possibility to reutilize plastic and wool residues together, mixing them to produce other items made according to the latest technological innovations.

**Keywords:** Plastic reutilization. Wood-plastic composites. Wood residues.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da reciclagem mecânica .....	18
Figura 2 - O processo da reciclagem química .....	21
Figura 3 - Fluxograma das etapas de reciclagem elétrica .....	22
Figura 4 - Moldagem por compressão .....	23
Figura 5 - Moldagem por transferência .....	24
Figura 6 - Elementos estruturais da madeira .....	25
Figura 7 - Deck de plástico - madeira .....	36

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>2 O PLÁSTICO E SUAS CARACTERÍSTICAS .....</b>	<b>10</b>
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS PLÁSTICOS .....	10
2.1.1 <i>Classificação dos plásticos de acordo com o tipo de polimerização.....</i>	<i>11</i>
2.1.2 <i>Classificação dos plásticos de acordo com sua estrutura química .....</i>	<i>11</i>
2.1.3 <i>Classificação dos plásticos de acordo com seu comportamento físico e mecânico .....</i>	<i>12</i>
2.1.3.1 Termoplásticos.....	12
2.1.3.2 Termofixos ou termorrígidos .....	14
2.1.3.3 Elastômeros .....	15
<b>3 RECICLAGEM DE PLÁSTICOS .....</b>	<b>15</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA RECICLAGEM DE PLÁSTICOS QUANTO À QUALIDADE DA MATÉRIA-PRIMA.....	15
3.1.1 <i>Reciclagem primária .....</i>	<i>16</i>
3.1.2 <i>Reciclagem secundária .....</i>	<i>16</i>
3.1.3 <i>Reciclagem terciária .....</i>	<i>17</i>
3.1.4 <i>Reciclagem quaternária.....</i>	<i>17</i>
3.2 CLASSIFICAÇÃO DA RECICLAGEM DE PLÁSTICOS QUANTO AO PROCESSO .....	17
3.2.1 <i>Reciclagem mecânica .....</i>	<i>17</i>
3.2.2 <i>Reciclagem química .....</i>	<i>20</i>
3.2.3 <i>Reciclagem energética.....</i>	<i>22</i>
3.3 CONFORMAÇÃO DE PLÁSTICOS .....	23
<b>4 A MADEIRA E SUAS CARACTERÍSTICAS .....</b>	<b>24</b>
4.1 PROPRIEDADES ANATÔMICAS DA MADEIRA .....	25
4.2 PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA .....	27
4.3 PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA .....	27
4.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DA MADEIRA .....	29
<b>5 PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS PLÁSTICO-MADEIRA... 31</b>	<b>31</b>
<b>6 COMPÓSITOS PLÁSTICO/MADEIRA.....</b>	<b>32</b>



6.1 PRODUÇÃO DE COMPÓSITOS TERMOPLÁSTICOS.....	33
<b>7 IMPORTÂNCIA DAS FIBRAS DE MADEIRA NOS COMPÓSITOS.....</b>	<b>35</b>
<b>8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS COMPÓSITOS PLÁSTICO-MADEIRA .....</b>	<b>35</b>
<b>9 CONCLUSÃO .....</b>	<b>37</b>
<b>10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>38</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista a necessidade de redução de resíduos provenientes do lixo domiciliar, a falta de espaço físico para aterros sanitários e a necessidade de minimizar os impactos ambientais causados pelo acúmulo desses resíduos, tornou-se necessária a reciclagem de materiais como papel, vidro, metal e plástico. Entre os produtos recicláveis, o plástico merece uma especial atenção, já que ao longo dos últimos anos, sua expansão através de produtos com formas e constituições diversas, tomou conta do mercado.

Os produtos provenientes do plástico variam conforme a resina de origem de cada um, por exemplo: frascos para refrigerantes (PET), engradados de bebidas, utilidades domésticas e produtos de limpeza (PEAD), tubos e conexões, frascos de água mineral, lonas e calçados (PVC), sacos de lixo e embalagens flexíveis (PEBD), autopeças, fios têxteis, potes em geral, seringas descartáveis (PP), cabines de aparelhos de TV e som, copos descartáveis, embalagens alimentícias (PS), CDs e eletrodomésticos (OT).

Com o avanço tecnológico e a necessidade de se fazer algo mais para que estes produtos não viessem a se tornar problemas maiores futuramente, surgiu a idéia de combinar o plástico com resíduos de madeira provenientes de serrarias gerados durante o desdobro da matéria-prima. Estes resíduos de madeira sejam na forma de cavacos, serragem ou outros, possuem destinos variados conforme as necessidades ou possibilidades de cada serraria. Parte desses resíduos tem sua utilização na produção de energia, parte é descartada a céu aberto e por vezes até queimados apesar da escassez do produto no mercado. Porém, uma pequena porcentagem deste material está sendo usado em inovações tecnológicas, entre elas, a produção de compósitos de madeira e plástico.

Dessa forma, o interesse em estudos sobre estes produtos plásticos junto aos resíduos de madeira, possibilitando a reutilização destes, é favorecido já que o retorno desses resíduos é feito em forma de produto útil à população, viabilizando novos empreendimentos e minimizando o impacto no meio ambiente.

O objetivo do presente trabalho é revisar a literatura com a finalidade de esclarecer como os plásticos podem ser utilizados, em conjunto com a madeira, na obtenção de novos produtos com diversos usos.

## **2 O PLÁSTICO E SUAS CARACTERÍSTICAS**

Os plásticos são polímeros constituídos por macromoléculas ligadas por covalência, os quais possuem formas e funções diferentes. A existência das ligações covalentes torna esse material atrativo em relação a outros materiais, já que essa característica facilita sua interação com outras substâncias como a madeira (ZANIN e MANCINI, 2004; PARENTE, 2006).

Em geral, os plásticos utilizados na combinação com a madeira são os considerados termoplásticos como: o polietileno (PE) de baixa (PEBD) e alta densidade (PEAD), o politereftalato de etileno (PET), o poliestireno (PS), o polipropileno (PP) e o policloreto de vinila (PVC), pois são moldáveis a quente e possuem baixa densidade entre outras características úteis no processo de produção (PAULESKI, 2005).

### **2.1 Classificação dos plásticos**

Quanto à morfologia interna, os plásticos são parcialmente cristalinos e parcialmente amorfos. As cadeias lineares desses polímeros só se estendem linearmente por uma curta distância, para logo depois dobrarem sobre si mesmas, formando pregas lamelares, que caracterizam a cristalinidade do polímero. As regiões lamelares nem sempre estão tão organizadas; as cadeias, ou parte delas, não possuem organização, e, neste caso, caracterizam um estado amorfo do polímero. Assim, um polímero tem na realidade dois componentes: a porção cristalina que está na forma lamelar e a fração amorfa, fora da lamela. Muitas vezes, é na forma de pequenos esferulitos que as lamelas se organizam, onde estão presentes as regiões amorfas e cristalinas, representadas, respectivamente, pela porção linear e lamelar da cadeia polimérica (GEORGE (1991) apud MACIEL (2001)).

O estado parcialmente desorganizado das suas moléculas é uma característica interessante para a produção e aplicação dos plásticos, pois a cristalinidade faz com que estes materiais sejam opacos e resistentes, porém quebradiços, enquanto as zonas amorfas conferem a esses produtos sua

flexibilidade e transparência (MACIEL, 2001).

Polímeros como o polipropileno, o poliestireno sindiotático e o náilon, são altamente cristalinos. Os altamente amorfos são o poli (metilmetacrilato), o poliestireno atático e o polibutadieno (MACIEL, 2001).

Os plásticos podem ser classificados de várias maneiras, de acordo com suas estruturas químicas, seu comportamento diante do calor, suas propriedades mecânicas, tipos de aplicação, escala de produção ou ainda por outras características (LUCAS (1994) apud MACIEL (2001)).

### 2.1.1 Classificação dos plásticos de acordo com o tipo de polimerização

As polimerizações plásticas podem também ser divididas em dois tipos básicos, tendo por diferença principal a geração ou não de subprodutos (ZANIN & MANCINI, 2004):

- Polimerização de adição ou em cadeia: monômeros que se ligam em uma cadeia sem gerar subprodutos. Ex.: polietileno.

- Polimerização de mecanismo por etapas ou condensação: monômeros que se ligam com geração de subprodutos. A molécula resultante repete-se ao longo da cadeia. Ex.: poliamida.

### 2.1.2 Classificação dos plásticos de acordo com sua estrutura química

Os plásticos também podem ser classificados, de acordo com os tipos de monômeros presentes em sua estrutura, da seguinte maneira (LUCAS (1994) apud MACIEL (2001)):

- Homopolímeros ou Polímeros de Adição: é o polímero constituído pela união de polímeros iguais, isto é, possui apenas um tipo de unidade estrutural repetida. Como exemplos de homopolímeros têm-se polietileno (PE), poliestireno (PS), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), acetato de polivinila (PVA) e outros.

- Copolímeros: são polímeros constituídos de dois ou mais tipos de

monômeros. Conforme sua estrutura, os copolímeros podem ser classificados em:

- Copolímeros ao acaso ou aleatórios: os monômeros se distribuem na cadeia do polímero ao acaso, sem nenhum ordenamento. Exemplo: estireno-acrilonitrila (SAN).

- Copolímeros alternados: os monômeros se alternam de forma regular na cadeia polimérica.

- Copolímeros em bloco: cada macromolécula do copolímero é formada por dois homopolímeros de certo comprimento, ligados por suas extremidades. Exemplo típico de copolímeros em bloco: elastômero termoplástico estireno-butadieno-estireno (SBS).

- Copolímeros de enxerto ou ramificado: a cadeia principal é formada por um único tipo de monômero, tendo ligado a ela cadeias laterais, curtas ou longas, formadas por outro tipo de unidades. Exemplo: poliestireno-poli (metil metacrilato) (PS-PMMA).

Copolímeros constituídos de unidades químicas diferentes são denominados freqüentemente de terpolímeros. Exemplo de terpolímero: elastômero termoplástico acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS).

### 2.1.3 Classificação dos plásticos de acordo com seu comportamento físico e mecânico

Os plásticos podem ser divididos em duas categorias básicas (MACIEL, 2001; COMPAM, 2001 apud PAULESKI, 2005; FONSECA, 2005):

#### 2.1.3.1 Termoplásticos

É todo o plástico que, quando aquecido, provoca o enfraquecimento das forças intermoleculares causando o amolecimento, tornando-o flexível e passível de moldagem. Quando resfriados tornam a se solidificar. O processo de reaquecimento

é possível por várias vezes, possibilitando a dissolução e plastificação térmica desses plásticos (semelhante a um processo de fusão).

Acetais e poliacetais, acrílicos, nitrato celulósico, acetato vinil-etileno (EVA), polietileno tereftalato (PET), poliamidas (náilons), polietileno, poliestireno, cloreto de polivinila (PVC), policarbonato e polipropileno são os principais termoplásticos utilizados na indústria (PARENTE, 2006).

O consumo nacional de apenas cinco tipos de termoplásticos (PE, o PP, o PS, o PVC e o PET) representa cerca 90% do consumo nacional apesar da grande variedade destes termoplásticos. O PET é o mais consumido na última década. Os principais termoplásticos utilizados no Brasil, em 1997, foram as embalagens primárias (31%), descartáveis (22%), construção civil (14%), outros materiais (13%), produtos ao consumidor (6%), filmes (5%), eletrodomésticos (5%), fibras (3%) e setor automotivo (1%) (SPINACÉ e PAOLI, 2005).

As características dos termoplásticos mais usados serão descritas a seguir:

O polietileno tereftalato (PET) é obtido a partir da reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol. O PET por ter boas propriedades de “barreira” com mínima absorção de oxigênio tem sua aplicação em garrafas para bebidas carbonatadas. Sua aplicação em garrafas de uso hospitalar também é usada, assim como sua aplicação em películas cinematográficas, filmes e placas para radiografia, entre outras como na forma de fibras têxteis (apresentando excelente resistência mecânica e ao amassamento) e como películas transparentes (altamente resistentes para uso em isolamentos de capacitores) (MARCZAK, 2004).

Os polietilenos (PE), devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina, são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns. São parcialmente solúveis em todos os solventes, em temperaturas abaixo de 60°C. As principais características do polietileno estão no baixo custo; na boa resistência química; no baixo coeficiente de atrito; no fácil processamento; na baixa permeabilidade à água; e por ser atóxico e inodoro (MARCZAK, 2004). Formas como o polietileno de baixa e alta densidade são os mais usados:

- O polietileno de baixa densidade (PEBD) é utilizado em filmes, camadas protetoras de superfície, tubos, produtos de uso doméstico e isolantes elétricos.

- Já o polietileno de alta densidade (PEAD) é utilizado em peças de grande tamanho e é encontrado na forma de chapas, tubos etc. Por possuir baixa

capacidade de suporte de carga e baixa rigidez, o polietileno é limitado como material de engenharia. No entanto, pode ser feita a adição de fibras de reforço para atenuar essa deficiência (MARCZAK, 2004).

O poliestireno (PS) é um material bastante utilizado em brinquedos, isolantes elétricos, partes de refrigeradores e embalagens. Não é muito utilizado como um material de engenharia devido à sua fragilidade, mas quando em composição com o butadieno ou outras resinas emborrachadas, pode ser obtida uma forma altamente resistente ao impacto. Encontra-se na forma de uma resina transparente e também em cores opacas. As principais características do poliestireno são: fácil processamento; fácil coloração; baixo custo; elevada resistência a ácidos e álcalis; baixa densidade e absorção de umidade; baixa resistência a solventes orgânicos, calor e intempéries (MARCZAK, 2004). Industrialmente, três tipos de meio de reação são utilizados, para a síntese do poliestireno (PS): polimerização em massa; polimerização em suspensão aquosa; polimerização em emulsão (MACIEL, 2001).

O cloreto de polivinila (PVC) é um dos plásticos mais utilizados. Sua mistura com estabilizantes, lubrificantes, adições, pigmentos e plastificantes, torna um amplo espectro de propriedades possíveis. Vai do flexível ao enrijecido PVC, transparente, opaco e nas formas coloridas. Possui boa resistência ao ataque de substâncias químicas, boas características a baixas temperaturas e propriedades retardantes de chama, mas o PVC, devido sua baixa estabilidade térmica, em temperaturas muito altas não mantém um bom desempenho mecânico (PARENTE, 2006).

O polipropileno (PP) é obtido a partir do gás propeno. Tem sua aplicação em recipientes de alimentos e de produtos químicos, utensílios domésticos, móveis, peças automotivas, brinquedos etc. É um termoplástico de baixa densidade, maleável, rígido, resistência à fluência e com boa resistência química. Possui ainda uma boa resistência ao calor e baixa absorção de água e seu custo é relativamente baixo (PARENTE, 2006).

### 2.1.3.2 Termofixos ou termorrígidos

Os plásticos termofixos não podem ser amolecidos e moldados novamente pelo aquecimento, pois possuem ligações primárias intermoleculares em grande

número que impedem sua fusão. O produto final mantém sua forma e resistência, impossibilitando uma nova moldagem. São mais resistentes que os termoplásticos. Aminoplásticos, epóxis, fenólicos (fenol formaldeído), poliéster e silicones são os principais termofixos empregados na indústria (PARENTE, 2006).

#### 2.1.3.3 Elastômeros

Há ainda uma terceira classe, considerada por alguns autores, que agrupa plásticos com características intermediárias entre os termoplásticos e os termofixos. Esses polímeros denominados de elastômeros, ou borrachas são essencialmente amorfos e apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termofixos. Sua reciclagem é complicada pela incapacidade de fusão, de forma análoga aos termorrígidos. A estrutura molecular é similar à do termorrígido, com a diferença de haver um menor número de ligações entre eles. Produtos como pneus, vedações e mangueiras de borracha são feitos com polímeros elastômeros (PARENTE, 2006; GORNI, 2011).

### **3 RECICLAGEM DE PLÁSTICOS**

A Sociedade Americana de Ensaio de Materiais (ASTM) diz que a reciclagem do plástico envolve dois tipos de classificação, uma quanto à qualidade da matéria-prima a ser utilizada e outra quanto ao processo de reciclagem do plástico (ZANIN e MANCINI, 2004).

#### **3.1 Classificação da reciclagem de plásticos quanto à qualidade da matéria-prima**



### 3.1.1 Reciclagem primária

A reciclagem primária é também chamada de reciclagem pré-consumo. Ela é realizada na própria indústria que gera os resíduos, ou por outras empresas transformadoras. Essa reciclagem é feita com materiais termoplásticos de fonte confiável e limpa, que sejam oriundos de resíduos industriais sem contaminação por impurezas (PINTO (1995) apud ROLIM (2000); ZANIN e MANCINI, 2004).

As etapas do processo de reciclagem primária envolvem, em geral, as seguintes etapas: seleção dos resíduos, moagem (após isso, o material adquire o formato de flocos), lavagem, secagem e reprocessamento em equipamentos como extrusoras e injetoras. No caso específico do material de filmes plásticos, pode ser inserida uma etapa extra de aglutinação. Essa etapa se faz necessária para gerar o aumento da densidade dos flocos, tornando-os assim, mais adequados ao reprocessamento. Obtém-se, dessa forma, um produto final com características semelhantes à resina virgem (ZANIN e MANCINI, 2004).

### 3.1.2 Reciclagem secundária

Durante este processo também chamado de reciclagem pós-consumo, os resíduos plásticos descartados no lixo são convertidos através das etapas de seleção, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento. A etapa de aglutinação também se faz necessária quando se trata de filmes. Os estágios desse processo também são conhecidos como reciclagem mecânica. Os materiais utilizados na reciclagem secundária são de variados tipos, exigindo uma boa separação destes materiais para posterior reaproveitamento. O material reciclado neste processo é um produto com propriedades inferiores à resina virgem (PINTO (1995) apud ROLIM (2000); ZANIN e MANCINI, 2004).

### 3.1.3 Reciclagem terciária

Este processo de reciclagem do plástico ocorre por despolimerização do resíduo plástico por processos químicos ou térmicos de maneira controlada, resultando como matéria-prima produtos como oligômeros, monômeros e substâncias de baixa massa molecular. Estes produtos posteriormente poderão submeter-se a novos processos de polimerização, processamento, industrialização e utilização (ZANIN e MANCINI, 2004).

### 3.1.4 Reciclagem quaternária

O processo aqui utilizado tem por base a combustão do plástico, que consiste na transformação da energia química dos produtos em energia térmica. O resultado final é a produção de energia e emissão gasosa, notadamente dióxido de carbono, quando da combustão completa (ZANIN e MANCINI, 2004).

## **3.2 Classificação da reciclagem de plásticos quanto ao processo**

As reciclagens primária e secundária são conhecidas como reciclagens mecânicas ou físicas. Na reciclagem primária utiliza-se polímero pós-industrial e na reciclagem secundária utiliza-se polímero pós-consumo. A reciclagem terciária também é chamada de química e a quaternária de energética (SPINACÉ e PAOLI, 2005).

### 3.2.1 Reciclagem mecânica

É quando o plástico passa por uma série de etapas (seleção, moagem, lavagem, secagem, aglutinação e reprocessamento), originando o grânulo que pode ser reutilizado na produção de outros produtos. O processo ainda pode ter incluso a aditivação do polímero visando o incremento de suas propriedades finais. A qualidade das etapas do processo e da matéria-prima (resíduos) pode determinar a semelhança ou não do reciclado com a resina virgem (ZANIN e MANCIN, 2004).

Este é o tipo de reciclagem mais difundido e utilizado, possibilitando a obtenção de produtos compostos por um único tipo de plástico, ou produtos a partir de misturas de diferentes plásticos em determinadas proporções (PARENTE, 2006).

Para a reciclagem mecânica, são necessários os seguintes procedimentos: separação do resíduo polimérico, moagem, lavagem, secagem, reprocessamento e a transformação do polímero em produto acabado (SPINACÉ e PAOLI, 2005).

As etapas da reciclagem mecânica podem ser descritas de acordo com a Figura 1.



Figura 1 - Etapas da reciclagem mecânica. Fonte: [www.plastivida.org.br](http://www.plastivida.org.br), 2011.

Primeiramente é feita uma separação criteriosa por tipo de plástico com o objetivo de obter um material mais homogêneo, outra separação é por cor e/ou produtos que as embalagens acondicionaram com a finalidade de uniformizar a etapa de lavagem. A mistura de diferentes plásticos proporciona um produto de propriedades mecânicas inferiores (ZANIN e MANCINI, 2004). O que determina a qualidade do produto é a fonte de obtenção do material, sendo este adquirido ou de coleta seletiva, ou de lixões ou aterros (PARENTE, 2006).

O material selecionado passa por um processo de redução de tamanho, através de moinhos (bolas, martelos, facas), etapa conhecida como moagem, onde

posteriormente o material moído é chamado de floco (flake). Essa etapa é fundamental no processo de reciclagem do plástico, podendo serem feitas até duas moagens, primeiramente para uniformizar o tamanho dos flocos e posteriormente para transformar os flocos em tamanhos menores.

A lavagem tem como objetivo a retirada de contaminantes como papel, areia, terra e outros componentes que porventura se fixam ao plástico de interesse, com a finalidade de deixá-lo livre de impurezas. Durante a lavagem, algumas técnicas são usadas para que a maior quantia possível de impurezas seja eliminada, como agitação, o uso de produtos químicos e temperatura maior que a ambiente. Estas técnicas tornam a água de lavagem mais poluída, sendo necessário que esta água receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente (ZANIN e MANCINI, 2004; PARENTE, 2006).

O enxágue é uma etapa feita somente quando há a utilização de produtos químicos (sabões, detergentes ou soda cáustica). Tem como finalidade, a remoção de resquícios destes produtos que podem causar problemas como: reações químicas superficiais que degradam o material e prejudicam suas propriedades finais nos processos que utilizam altas temperaturas; alterar a produtividade da etapa ao funcionar como lubrificantes no processamento posterior à secagem; e contaminar produtos que tenham contatos com este plástico reciclado (ZANIN e MANCINI, 2004).

A secagem, por sua vez, tem a função de eliminar a água que aderiu à superfície dos plásticos durante a lavagem ou durante a estocagem. É uma etapa de fundamental importância, pois, se a umidade não for totalmente retirada, poderá promover degradação hidrolítica (quebra de cadeias por meio da ação de moléculas de água) quando usadas altas temperaturas no processo de transformação ou na secagem. Caso isto venha a acontecer, o material reciclado adquire propriedades inferiores (produtos com bolhas), sem contar que os equipamentos metálicos utilizados no processo também são afetados (ZANIN e MANCINI, 2004).

Após a secagem, materiais como filmes plásticos (sacos e sacolas) ou de outros produtos de espessura fina, como copos descartáveis de poliestireno, são compactados no aglutinador (etapa de aglutinação) reduzindo-se assim o volume que será enviado ao equipamento que fará o processamento final. Este processo é necessário para evitar problemas no alimentador dos equipamentos de transformação, como extrusoras. O aglutinador também é utilizado para

incorporação de aditivos, como cargas, pigmentos e lubrificantes (ZANIN e MANCINI, 2004; PARENTE, 2006).

Por fim, considera-se como transformação, todo o procedimento de extrusão, injeção, calandragem, moldagem entre outros aplicados no processamento de polímeros (ZANIN e MANCINI, 2004).

Quando se trata da transformação de flocos em produtos finais, a forma de processamento mais importante na reciclagem é a extrusão (ZANIN e MANCINI, 2004).

Os processos utilizado nas indústrias de plástico, são os de extrusão, termoformagem, injeção, rotomoldagem, calandragem e moldagem por compressão, sendo que este último é inclusive utilizado na indústria de reciclagem (ZANIN e MANCINI, 2004).

### 3.2.2 Reciclagem química

A reciclagem química se trata da destruição da estrutura polimérica através da despolimerização principalmente da cadeia principal. O produto final é da mesma linha da reciclagem terciária (ZANIN e MANCINI, 2004).

A reciclagem química visa à obtenção de produtos de valor agregado maior que a energia obtida via reciclagem energética. A despolimerização é controlada neste processo (ZANIN e MANCINI, 2004).

No processo de reciclagem química, o pó é utilizado como matéria-prima de qualidade, ao contrário do que acontece no processo de reciclagem mecânica, pois o material passou previamente por todas as etapas do processo de recuperação do plástico (separação, divisão, limpeza e secagem) (ZANIN e MANCINI, 2004).

As etapas da reciclagem química do plástico podem ser observadas na Figura 2.

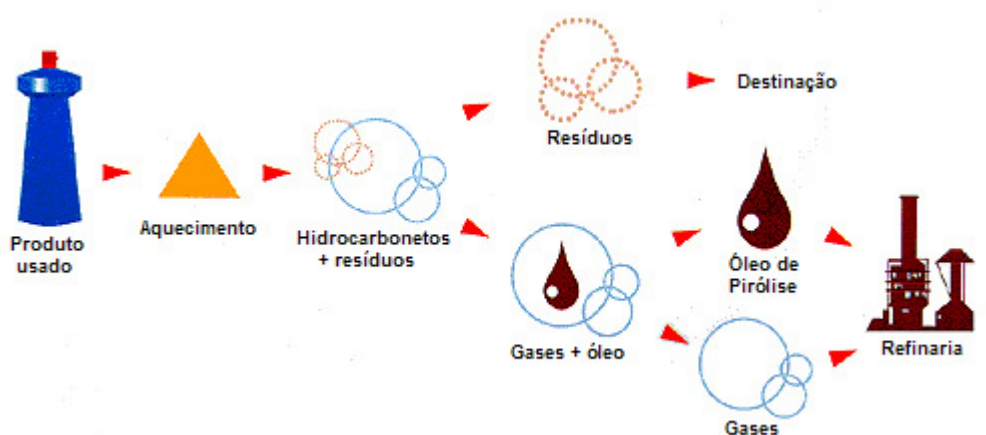


Figura 2 - O processo da reciclagem química. Fonte: [www.plastivida.org.br](http://www.plastivida.org.br), 2011.

A termólise (ou reciclagem termoquímica) ocorre por meio de calor. Assim, a estrutura química do plástico é destruída. Reagentes como o oxigênio e o hidrogênio, são eventualmente adicionados em quantidades relativamente pequenas (ZANIN e MANCINI, 2004).

A pirólise é um processo básico de termólise feito em fornos à vácuo ou em atmosfera inerte com temperaturas de 400°C a 800°C. Na ausência de oxigênio, o calor quebra as moléculas degradando o plástico, resultando num produto predominantemente líquido. A pirólise gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias (ZANIN e MANCINI, 2004).

A gaseificação, outro processo da termólise, adiciona de maneira controlada o oxigênio, utilizando o líquido da pirólise em temperaturas de 900°C. A idéia é transformar o líquido (composto basicamente de hidrocarbonetos de tamanhos diversos), em um gás sintético à base de monóxido de carbono e hidrogênio. Este líquido é utilizado em processos químicos e com valor agregado maior que o produto da pirólise (ZANIN e MANCINI, 2004).

A hidrogenação, terceiro processo de termólise, visa obter produtos igualmente líquidos, dos resíduos plásticos liquefeitos realizando um craqueamento com o oxigênio. O processo resulta produtos como a gasolina e o óleo diesel com valor agregado muito maior dentre todos os produtos possíveis da termólise (ZANIN e MANCINI, 2004).

A solvólise é a despolimerização do plástico. É realizada com o uso de solventes. O calor é empregado em níveis bem inferiores à termólise, no máximo um

pouco acima da temperatura de fusão do polímero que se deseja despolimerizar. Por essa razão, normalmente os termos reciclagem química e solvólise são usados como sinônimos (ZANIN e MANCINI, 2004).

Entre os processos de reciclagem químicos citados por Parente (2006), além da hidrogenação, da gaseificação, e da pirólise, está a quimólise (que consiste na quebra parcial ou total dos plásticos na presença de glicol/metanol e água, em monômeros).

### 3.2.3 Reciclagem energética

Neste processo o plástico passa por combustão, onde a despolimerização é ocasionada com o intuito de produzir energia. Os produtos resultantes são os mesmos da reciclagem quaternária (ZANIN e MANCINI, 2004; PARENTE, 2006).

A reciclagem energética (Figura 3) busca a combustão completa do plástico a ser incinerado, em unidades semelhantes às usinas termoelétricas, que são normalmente abastecidas com carvão, óleo ou gás natural (ZANIN e MANCINI, 2004).

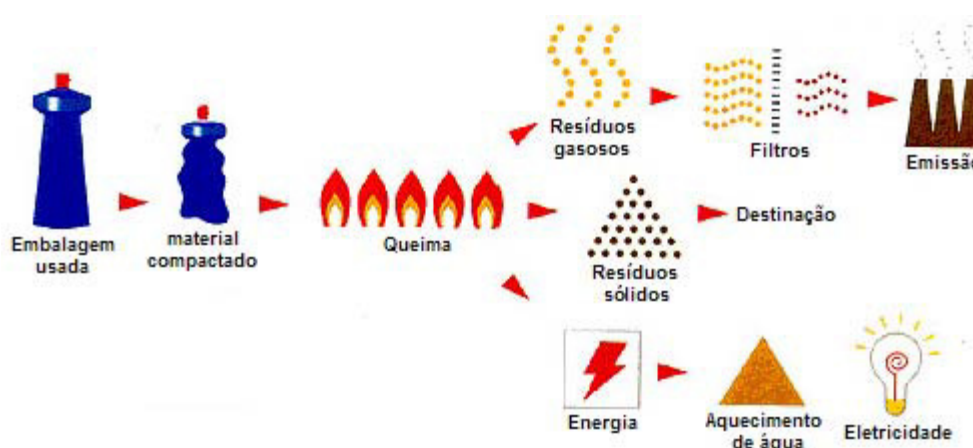


Figura 3 - Fluxograma das etapas da reciclagem elétrica. Fonte: [www.plastivida.org.br](http://www.plastivida.org.br), 2011.

Essa reciclagem distingue-se da incineração, pois utiliza os resíduos plásticos como combustível na geração de energia elétrica. Já, a simples incineração não reaproveita a energia dos materiais (PARENTE, 2006).

A vantagem desse processo é o fato de que todos os plásticos podem estar misturados, sem a necessidade de uma separação prévia. (ZANIN e MANCINI, 2004).

Zanin e Mancini (2004) afirmam que, assim como no óleo diesel, no plástico a combustão não seria 100% completa, gerando como subproduto gases poluentes.

### 3.3 Conformação de plásticos

As formas de conformação dos plásticos são caracterizadas de duas maneiras (PARENTE, 2006):

Moldagem por compressão (Figura 4), que é um processo utilizado principalmente em termofixos. Se trata da compactação da matéria-prima entre moldes pré-aquecidos. O ciclo de moldagem pode ser realizado de maneira manual, semi-automática ou automática dependendo das instalações.

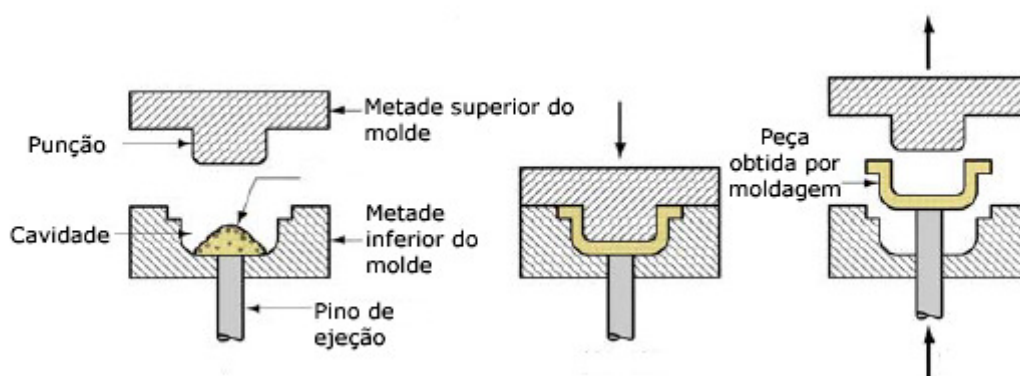


Figura 4 - Moldagem por compressão. Fonte: Parente, 2006.

A moldagem por transferência (Figura 5) é uma técnica similar ao processo de moldagem por injeção utilizado para materiais termoplásticos. O material termoendurecível é forçado por meio de um êmbolo ou de uma cavidade de carga



através de um canal alimentador a uma cavidade de moldagem aquecida.

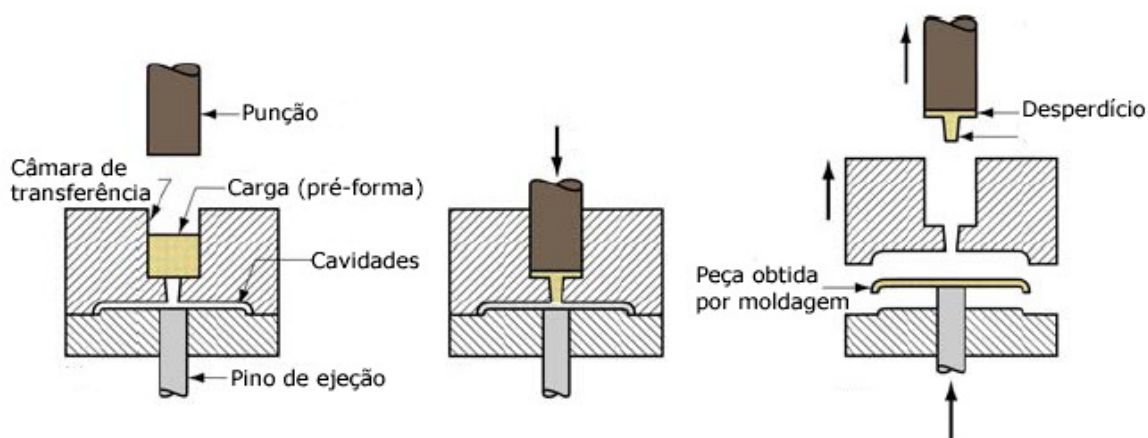


Figura 5 - Moldagem por transferência. Fonte: Parente, 2006.

Se os termoplásticos fossem conformados pelo processo de moldagem por compressão, demandaria muito tempo e calor, pois o material teria que ser aquecido a um estado de fluidez, para então moldá-lo e deixá-lo resfriar enquanto estivesse contido no molde. Com isso, o processo mais importante de conformação dos termoplásticos, torna-se a moldagem por injeção, que é uma adaptação do processo de fundição sob pressão utilizada em metais leves (PARENTE, 2006).

## 4 A MADEIRA E SUAS CARACTERÍSTICAS

A madeira é um material heterogêneo que possui diferentes tipos de células com funções específicas como condução de líquidos, transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e sustentação do vegetal (BURGER, 1991).

As propriedades anatômicas, físicas, químicas e mecânicas, influenciam na formação e qualidade dos produtos reconstituídos de madeira (IWAKIRI, 2005).

#### 4.1 Propriedades anatômicas da madeira

A madeira possui suas células dispostas e organizadas em diferentes direções, que conforme a face observada durante um corte pode ser caracterizada com os seguintes planos convencionais: transversal (X), que é perpendicular ao eixo da árvore; longitudinal radial (R), que é paralelo aos raios ou perpendicular aos anéis de crescimento; e longitudinal tangencial (T), que é perpendicular aos raios, ou tangenciando os anéis de crescimento (BURGER, 1991).

Os elementos estruturais da madeira podem ser observados na Figura 6.

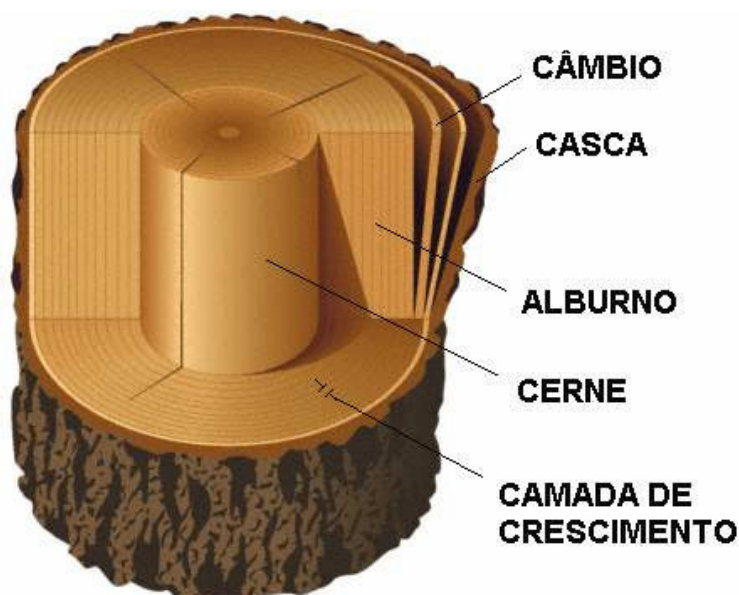


FIGURA 6 – Elementos estruturais da madeira. FONTE: Costa, 2001.

Os elementos estruturais da madeira têm as seguintes características e funções (BURGUER e RICHTER, 1991; GLÓRIA E GERREIRO, 2006):

- Casca: com função de proteger o vegetal externamente, a casca é formada por duas camadas. A camada externa é formada pelo córtex, periderme e ritidoma (tecidos que revestem o tronco) e a camada interna é formada pelo floema (conjunto de tecidos vivos especializados para a condução da seiva elaborada). A proteção do vegetal contra o ressecamento, ataques fúngicos, injúrias mecânicas e variações climáticas, é outra função da casca, além de servir na identificação de árvores vivas.

- Câmbio: é o tecido meristemático localizado entre o xilema e o floema, tem sua atividade influenciada sensivelmente pelas condições climáticas. Sendo responsável pela formação dos tecidos secundários que constituem o xilema e a casca. O câmbio permanece ativo durante toda a vida do vegetal.

- Anéis de crescimento: representam, em regiões de clima temperado, o incremento anual da árvore. A idade do indivíduo é representada por cada novo anel formado ao longo do ano no tronco, por esse motivo, os anéis de crescimento também são denominados de anéis anuais. A caracterização de um anel de crescimento se dá por duas partes distintas: lenho inicial ou primaveril, e lenho tardio ou outonal.

- Cerne e alburno: a proporção entre cerne e alburno varia entre espécies, dentro da própria árvore, outras variáveis como clima, solo, sítio, idade e espécie, também influenciam esta variação. Caracterizado por uma coloração mais escura, o cerne é a parte mais interna do tronco. O alburno, de cor mais clara, é a região do xilema secundário que se mantém ativo. As células do alburno quando deixam de funcionar, passam a fazer parte do cerne ocorrendo a deposição de componentes como tanino, resinas, gorduras, carboidratos e outros, que estavam contidos no alburno, conferindo a cor mais escura ao cerne.

- Raios: são formados por células parenquimáticas. Tratam-se de faixas horizontais de comprimento indeterminado dispostas radialmente no tronco, com função de armazenamento e transporte de nutrientes na árvore.

- Medula: é a parte que ocupa o centro do tronco. Configura-se em um tecido macio, cuja função é a de armazenar substâncias nutritivas para a planta durante a fase inicial de crescimento.

Características inerentes à anatomia da madeira, como os anéis de crescimento, cerne e alburno, lenho juvenil e adulto, grã e porosidade, influenciam na colagem deste material (IWAKIRI, 2005).

As fibras são células de sustentação, de forma alongada com extremidades afiladas e maior dimensão no sentido do eixo longitudinal do tronco. São responsáveis pela rigidez ou flexibilidade da madeira (GLÓRIA E GERREIRO, 2006).

A disposição das fibras na madeira, além de outros elementos, torna a madeira anisotrópica. Portanto, propriedades diferentes são encontradas devido à orientação das fibras e seu entrelaçamento na estrutura da árvore, afetando as propriedades tanto planas, quanto tridimensional do produto final (OLLI (2003) apud

RAZERA (2006).

## **4.2 Propriedades químicas da madeira**

A madeira é formada por componentes químicos orgânicos e inorgânicos que variam na sua quantidade entre espécies, dentro da mesma espécie e de uma região para outra na árvore, e até entre células (FRIZZO e SILVA, 2001).

De maneira geral, a composição química da madeira é de 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44% de oxigênio, e pelo nitrogênio com teores menores e também por minerais determinados, como as cinzas (FRIZZO e SILVA, 2001).

Em relação aos componentes químicos fundamentais (componentes da parede celular) a madeira é constituída de polissacarídeos (ou holoceluloses) que compreendem a celulose, as hemiceluloses (poliose) e ácidos urônicos e pela hololignina que compreende a hemilignina e a lignina (FRIZZO e SILVA, 2001).

Os componentes químicos acidentais compreendem os compostos orgânicos e inorgânicos não essenciais à parede celular, sendo compostos por extrativos, minerais e outros (FRIZZO e SILVA, 2001).

Os extrativos encontrados em menores proporções na constituição química da madeira são materiais produzidos principalmente durante a formação do cerne, e tem seus efeitos relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira. O pH da madeira, que varia conforme a espécie e situa-se normalmente na faixa de 3 a 6, pode variar dentro de uma mesma peça de madeira quando há migração de extrativos de camadas mais internas para camadas superficiais, alterando as condições de colagem; Já, o conteúdo de cinzas da madeira encontra-se geralmente abaixo de 0,5% e não afeta diretamente a performance da ligação adesiva, mas poderá, devido à presença de minerais como a sílica e seu efeito ao desgaste excessivo das peças cortantes, afetar o pH ou as características de usinabilidade da madeira (RAZERA, 2006).

## **4.3 Propriedades físicas da madeira**

As propriedades físicas da madeira, que interessam ao estudo de fabricação de compósitos, seguem abaixo:

A massa específica da madeira é a razão entre a quantidade de massa por unidade de volume. Espécies mais pesadas, em geral, apresentam características mais duradouras. Mesmo em espécies que apresentem dimensões iguais, algumas são naturalmente mais pesadas que outras. Os fatores estruturais e os compostos orgânicos e inorgânicos presentes no lenho, determinam o índice de massa específica entre espécies. A resistência mecânica e a durabilidade elevam-se à medida que o peso específico aumenta, ao contrário do que ocorre com a permeabilidade à soluções preservantes e com a trabalhabilidade (COSTA, 2001). As maiores alterações dimensionais com mudanças no conteúdo de umidade são apresentadas em madeiras de alta densidade, tornando esta, uma propriedade física que influencia na colagem da madeira (RAZERA, 2006).

A madeira é considerada um material anisotrópico devido à orientação das células (longitudinal, radial e tangencial), pois as propriedades da madeira divergem conforme o sentido das fibras (PFEIL, 2003).

A umidade presente na madeira tem grande importância sobre as suas propriedades, sendo esta encontrada nos espaços celulares e intercelulares da madeira (água livre ou de capilaridade), impregnada nas paredes celulares (água de impregnação) e participando da constituição química da madeira (água de adsorção química) (MORESCHI, ?). O grau de umidade varia continuamente de uma peça em serviço havendo variações diárias ou de estação, devido à natureza higroscópica da madeira (PFEIL, 2003). As propriedades de resistência, poder calorífico, capacidade de receber adesivos e secagem, entre outras, irão depender diretamente na umidade (COSTA, 2001). A umidade influencia na colagem da madeira, pois a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo é inversamente proporcional ao conteúdo de umidade na mesma (RAZERA, 2006).

A retração é um fenômeno que ocorre nas dimensões e no volume de uma peça de madeira conforme a variação da umidade entre 0% e o ponto de saturação das fibras (30%), surgindo retração ou inchamento da peça. Três aspectos de contração ocorrem: contração tangencial (variação das dimensões da madeira no sentido perpendicular aos raios); contração radial (variação das dimensões da madeira no sentido dos raios); e contração volumétrica (variação das dimensões da

madeira considerando-se como parâmetro o seu volume total) (COSTA, 2001; PFEIL, 2003). A mudança de volume da madeira, seja ela por contração ou inchamento, limita consideravelmente o seu uso na indústria (MORESCHI, ?).

A baixa condutibilidade térmica é a propriedade que garante que a madeira impeça a transmissão de ondas de calor ou frio, devido à organização estrutural do tecido, que retêm pequenos volumes de ar em seu interior. A madeira, portanto, torna-se um mal condutor térmico, isolando calor ou frio (COSTA, 2001).

Condutibilidade sonora na madeira também é baixa. Dessa forma, a madeira é um produto usado para o condicionamento acústico, pois esta enfraquece a reverberação sonora e melhora a distribuição das ondas pelo ambiente. Isto ocorre porque a propagação de ondas sonoras é reduzida ao entrar em choque com a superfície da madeira (COSTA, 2001).

#### **4.4 Propriedades mecânicas da madeira**

A madeira se comporta de diferentes formas quando sujeita a diferentes esforços. A seguir veremos alguns dos esforços a que a madeira, em geral é submetida e como a mesma se comporta.

A compressão paralela às fibras ou compressão axial refere-se à carga suportada em uma peça no sentido das fibras da madeira, com velocidade controlada, até a sua ruptura. As colunas que sustentam um telhado oferecem um exemplo de peça que sofre essa compressão (COSTA, 2001).

A compressão perpendicular às fibras ou compressão normal é quando as fibras de uma peça de madeira são transversalmente comprimidas através de um esforço. A resistência ao achatamento causado nessas fibras compostas de células ocas é então avaliada (PFEIL, 2003).

O cisalhamento é a separação das fibras devido a um esforço no sentido paralelo ou oblíquo a estas, causando um deslizamento de um plano sobre outro. O cisalhamento pode ser provocado também por um esforço no sentido normal às fibras, mas em geral isto não chega a ocorrer, pois a ruptura ocorre por esmagamento das fibras (COSTA, 2001).

A dureza superficial é a propriedade de resistir à penetração localizada, ao

desgaste e a abrasão (COSTA, 2001).

A elasticidade é a capacidade de um material sofrer a aplicação de uma carga, apresentando deformação proporcional à sua intensidade e retornar, após o cessar do esforço, ao seu estado original (COSTA, 2001).

Os testes de flexão dinâmica determinam a capacidade de uma peça de madeira suportar esforços mecânicos ou choques (COSTA, 2001).

Já os testes de flexão estática são feitos com aplicação de carga diretamente no centro em uma amostra apoiada nos extremos, tangencialmente aos anéis de crescimento para causar tensões e deformações mensuráveis, até sua ruptura (COSTA, 2001; MORESCHI, ?).

A tração paralela tem o intuito de avaliar a resistência a tração em uma peça, esta é realizada quando uma tensão é aplicada sobre as fibras podendo causar deslizamento entre elas ou uma ruptura em suas paredes formando pequenas deformações (PFEIL, 2003).

Já a tração perpendicular avalia a resistência aos esforços aplicados em uma peça no sentido perpendicular às fibras. Estas tendem a se separarem, ocasionando uma deformação leve. Esta tração é utilizada em algumas ligações e em vigas curvas de madeira laminada colada (PFEIL, 2003).

As principais propriedades mecânicas da madeira que influenciam no desempenho da ligação adesiva são: as tensões internas (diferentes estruturas da madeira, grã, densidade, módulo de resistência e coeficiente de retratibilidade, geram diferentes níveis de tensão nas interfaces da “madeira/adesivo” em função das alterações de temperatura e umidade do ambiente); e as tensões externas (tensões impostas através de cargas cumulativas ou dissipativas sobre a linha de cola). Através da falha da madeira, é possível observar as regiões de baixa resistência da peça (RAZERA, 2006).

Fatores de variabilidade como idade e condições de crescimento são causadores de muitos problemas de colagem entre diversos tipos de madeira, pois mudanças químicas e físicas acontecem. Fisicamente esses fatores alteram a porosidade aparente da madeira e afetam a mobilidade de adesivos (MARRA (1992) apud COSTA (2001)).

## **5 PREPARAÇÃO DA MADEIRA PARA FABRICAÇÃO DE COMPÓSITOS PLÁSTICO-MADEIRA**

O processo de redução da madeira em partículas irá depender do produto a ser fabricado, pois a especificação de preparo do tamanho ideal destas partículas varia conforme o produto final (RAZERA, 2006).

Com a chegada da madeira (em teores de umidade que variam de 35 a 120%) ao pátio de indústria, dá-se início à produção de chapas de partículas. Essa madeira deverá ter sua umidade reduzida para próximo de 30% para que o descascamento e as operações seguintes de transformação sejam facilitados (MACIEL, 2001).

O descascamento é feito por descascadores do tipo abrasivo, hidráulico ou mecânico. Um dos equipamentos do tipo abrasivo mais utilizado é o tambor de descascamento (MACIEL, 2001).

Para a casca se desprender da madeira, jatos de água com pressões que oscilam entre 30 e 105 Kg/cm<sup>2</sup> são usados no descascamento do tipo hidráulico. Já, no descascamento mecânico, o dispositivo é dotado de facas ou correntes ou dispositivos rotatórios de construção especial para descascar a madeira (MACIEL, 2001).

Após a madeira ser descascada, e transformada em toretes, uma redução primária é feita em um moinho de facas ou picador (cortes perpendiculares a grã), onde a madeira é transformada em cavacos. Uma redução secundária ocorre em moinhos de martelo, onde os cavacos são transformados em partículas com forma e tamanho desejado. Fatores importantes como a geometria das partículas obtidas e a razão de esbeltez, influenciam todas as propriedades das chapas, desde suas propriedades mecânicas e características superficiais, até seu acabamento final. (MACIEL, 2001).

Esbeltez é a relação entre o comprimento e a espessura das partículas, esses são dois fatores importantes que influenciam todas as propriedades das chapas, desde suas propriedades mecânicas e características superficiais, até seu acabamento final (MACIEL, 2001).

Por meio de um sistema de esteiras rolantes ou de tubos condutores



pneumáticos, as partículas produzidas são levadas até os silos de estocagem. Posteriormente, estas partículas são transferidas para o secador por um sistema de alimentação pneumática, onde o seu teor de umidade é ajustado automaticamente para teores prefixados (entre 3 e 6%), ideais para a aplicação do adesivo (MACIEL, 2001).

Durante a operação de prensagem a quente (ponto crítico da umidade das partículas), deve-se ter uma maior atenção, pois, se a umidade estiver alta pode ocasionar a delaminação ou “estouro” do painel, no momento de abertura dos pratos da prensa (YOUNGQUIST (1999) apud RAZERA (2006)).

O consumo de adesivos é influenciado pelo tamanho das partículas para um mesmo nível de propriedades, pois, quanto maior o coeficiente de esbeltez da partícula mais elevado será o consumo de adesivo (MACIEL, 2001).

## **6 COMPÓSITOS PLÁSTICO-MADEIRA**

Os compósitos são compostos por duas ou mais matérias-primas (madeira, plástico e fibra vegetal). Os compósitos de plástico/madeira (do latim *compositus*) são obtidos a partir da utilização de uma resina termoplástica que é utilizada como matriz contínua ou descontínua. Essa matriz é reforçada com partículas de madeira (MACIEL, 2001). Esse produto, em geral, tem características heterogêneas, sendo que, o componente estrutural (descontínuo), figura como a principal resistência ao esforço, e o componente matricial (contínuo) representa o meio de transferência desse esforço (MOLINA, CARREIRA & JUNIOR, 2009).

Por serem manufaturados a partir de partículas e fibras de madeira, aglutinadas com resinas e/ou plásticos reciclados, os produtos reconstituídos de madeira são considerados materiais ambientalmente corretos. Os compostos suportam até oito ciclos de reciclagem, sem que suas propriedades sejam perdidas. Os compostos de plástico-madeira são derretidos quando processados e tornam-se rígidos quando resfriados (ROU (2000) apud RAZERA (2006)).

## 6.1 Produção de Compósitos Termoplásticos

Para a produção de compósitos termoplásticos, é feita inicialmente a escolha e a transformação das matérias-primas empregadas através de processos químicos ou mecânicos em partículas nas formas desejadas (MACIEL, 2001).

Os agentes compatibilizadores são adicionados às fibras ou farinha de madeira e parcialmente fundida em um rotor termocinético de alta velocidade (3500 rpm). A massa obtida dessa mistura é resfriada e extrudada gerando partículas. Estas partículas serão misturadas a seco com as partículas de plástico. O material depois de misturado, de acordo com o método citado por Maciel (2001), segue três caminhos diferentes:

- Para o processo de fundição parcial em rotor termocinético, o resfriamento, a extrusão e a transformação de partículas são novamente utilizados, sendo estas partículas moldadas à quente pelo método da injeção ou extrusão;

- Para a realização direta da moldagem da mistura;

- Para a termoprensagem com ou sem adesivo.

Por fim, após testes de qualidade e um período de climatização, o produto final, chega ao consumidor (MACIEL, 2001).

Assim que o compósito termoplástico é finalizado, são avaliadas as propriedades físico-mecânicas de acordo com as normas da ASTM para plásticos e também de acordo com as normas ASTM – D1037 para produtos com baixo teor de plásticos, específicas para chapas de partículas de madeira aglomerada. Entre os compósitos de madeira-plástico, as propriedades podem variar significativamente, dependendo, sobretudo de algumas variáveis, como tipo de plástico empregado, forma e peso das frações constituintes, tipos de aditivos e técnica de produção (MACIEL, 2001).

Um dos procedimentos comuns na mistura dos ingredientes necessários para a produção dos compósitos de plástico e madeira é adicionar às partículas de madeira o aditivo, na forma de pó, homogeneizando a mistura em equipamentos misturadores. Na seqüência, o plástico é acrescentado na forma de pellets, conduzindo a mistura efetuada para o equipamento formador (MACIEL, 2001).

Os agentes de ligação ou aditivos compatibilizadores usados em compostos de plástico e madeira, com função de melhorar a adesão e a afinidade entre eles,

não tem uma formulação definida, mas valores entre 0,5 até 10% da relação do peso da mistura plástico-madeira são empregados (MACIEL, 2001; FONSECA, 2005).

A fabricação de produtos de madeira e plástico pode ser feita a partir de dois processos principais: moldagem ou extrusão. Ambos utilizam alta pressão e temperatura (YOUNGGUIST (1995) apud TEIXEIRA, MOREIRA e COSTA (2002)).

As fibras podem afetar positivamente a estabilidade dimensional dos compósitos plásticos atuando como material de reforço melhorando a resistência e rigidez deste material (MACIEL, 2001).

É importante ressaltar que os métodos de produção desses compósitos toleram pouco ou nenhum contato com a água. A mistura do plástico com a madeira deve apresentar no momento do processamento, um teor de umidade máximo de 3% (ENGLISH et al. (1996) apud MACIEL (2001)).

Algumas das tecnologias mais recentes permitem utilizar partículas e fibras de madeira proveniente de resíduos através de processos como: injeção, extrusão ou moldagem por compressão em formas complexas. O uso dessas tecnologias vem trazendo a possibilidade de utilizar a madeira em novas formas de design e projetos para aplicações antes não possíveis (RAZERA, 2006).

Os compósitos termoplásticos podem ser obtidos segundo dois critérios de produção: compósitos com alto conteúdo de plásticos e compósitos com baixo conteúdo de plásticos (MACIEL, 2001).

No caso dos compósitos com alto conteúdo de plástico, a moldagem é feita por extrusão ou injeção. Já para compósitos com baixo conteúdo de plástico, sua produção se dá de modo muito similar ao das chapas de partículas de madeira aglomerada, isto é, são termo-prensadas (MACIEL, 2001).

Na injeção de produtos com o material moldado mistura plástico-madeira, geralmente obtida a partir da extrusão, é possível conter até 80% de pó ou farinha de madeira industrializada (RAZERA, 2006).

## **7 IMPORTÂNCIA DAS FIBRAS DE MADEIRA NOS COMPÓSITOS**

Algumas vantagens são encontradas na utilização de madeira e outras fibras naturais em termoplásticos. As fibras ou farinha de madeira vêm reforçar os termoplásticos proporcionando mais leveza devido a sua baixa densidade (0,25 a 0,5 g/cm<sup>3</sup>) se comparada às densidades da fibra-de-vidro (2,5 g/cm<sup>3</sup>); CaCO<sub>3</sub> ou talco (2,8 g/cm<sup>3</sup>), possibilitando a incorporação de elevados teores e com isso um aumento na rigidez de uma peça. A presença destas fibras aumenta a estabilidade dimensional do produto em temperaturas elevadas. É um material menos abrasivo e oriundo de fontes renováveis, possibilitando manutenção da reciclabilidade sendo utilizada como carga em termoplásticos para reduzir custos com matéria-prima (ENGLISH et al (1996) apud CAMARGO (2006); RODOLFO e JOHN, 2006).

O que limita o uso das fibras de madeira é a natureza higroscópica da celulose e a susceptibilidade que esse material tem à temperaturas acima de 200°C, ocorrendo degradação térmica. Esse problema é enfrentado durante o processamento dos polímeros e das fibras para a produção dos compósitos plástico-madeira (CAMARGO, 2006; RODOLFO e JOHN, 2006).

## **8 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS COMPÓSITOS PLÁSTICO-MADEIRA**

Como vantagens dos compósitos de plástico-madeira, pode-se citar (STARK e SCHNEIDER (1996), ECKERT (2000) apud CORREA, FONSECA E NEVES (2003); MOLINA, CARREIRA e JÚNIOR, 2009):

São painéis resistentes à corrosão. A proteção que o material plástico oferece às partículas de madeira permite o emprego desses produtos nas condições adversas do meio ambiente. São imunes a pragas. Os ataques de microrganismos e insetos são mínimos. São impermeáveis. Podem ser extrusados em perfis com formatos diversificados onde a matriz de plástico envolve parcial ou totalmente as

partículas de madeira, apresentando uma melhor estabilidade dimensional e dispensando o uso de vernizes e seladores. Além disso, esses painéis podem ser limpos com água e sabão. Apresentam boa resistência aos impactos. Não racham e podem ser utilizados como elemento de sustentação. São totalmente recicláveis e possuem a mesma característica visual da madeira. São leves e, portanto, têm seu uso recomendado para estruturas que exijam praticidade, resistência e pouca manutenção.

Na construção civil, a madeira plástica pode ser perfeitamente aplicada de várias maneiras como, por exemplo: decks, pallets, formas, móveis, batentes, portões e cercas (MOLINA, CARREIRA e JÚNIOR, 2009).

A exposição da madeira plástica à temperaturas acima de 200 a 220 °C pode ocasionar algumas desvantagens ao produto como a degradação da celulose dos resíduos de madeira, liberando voláteis. Esta reação pode ter como resultado descoloração, aparecimento de odor e a fragilização do compósito (STARK e SCHENEIDER (1996), FROLLINI, LEÃO e MATTOSO (2000) apud CORREA, FONSECA E NEVES, 2003).



**Figura 7: DECK DE PLÁSTICO-MADEIRA.** Fonte: TAVARES ET AL., 2007.

## 9 CONCLUSÃO

É possível concluir, ao realizar essa revisão bibliográfica, que nem todos os plásticos podem ser utilizados em combinação com partículas de madeira na fabricação de compósitos. Os termoplásticos ainda são preferidos para esse fim. Os plásticos termofixos, embora possam ser utilizados na fabricação de compósitos, têm seu custo aumentado devido à necessidade de inclusão de resinas que efetuem o processo de colagem do painel.

O aproveitamento de resíduos plásticos, em combinação com resíduos de origem vegetal é uma ótima alternativa para diminuir os impactos que a não utilização desses materiais gera no ambiente. Os usos, cada vez mais amplos desse tipo de painel, vêm indicando tanto a preocupação social com a reciclagem, quanto a abertura de um mercado lucrativo para as empresas.

## 10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CAMARGO, A. S. **Compósitos de polipropileno reforçado com farinha de madeira para aplicações em produtos moldados por injeção**. 2006. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade São Francisco, Itatiba, São Paulo, 2006.

CORREA, C. A.; FONSECA, C. N. P.; NEVES, S. Compósitos Termoplásticos com Madeira, **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, vol. 13, nº 3, p. 154-165, 2003.

COSTA, A. Coletâneas de Anatomia da Madeira. **Apostila**. Universidade do Estado de Santa Catarina, 42 f., 2001.

FONSECA, F. M. de C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos à base de polietileno de alta densidade (PEAD) reciclado com fibras vegetais**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais)- Rede Temática de Engenharia de Materiais (REDEMAT), Belo Horizonte, 2005.

FRIZZO, S.M.B.; SILVA, M.C.M. Apontamentos de química da madeira. **Apostila Didática**. Santa Maria, UFSM, 2001.

GLÓRIA, B. A.; GERREIRO, S. M. C. **Anatomia Vegetal**. 2ª Ed. Viçosa: UFV, 2006. 438p.

GORNI, A. A. **Introdução aos plásticos**. Disponível em: < <http://www.gorni.eng.br/intonopol.html> >. Acesso em: 11 jun. 2011.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

MACIEL, A. da S. **Chapas de partículas aglomeradas de madeira de *Pinus elliottii* ou *Eucalyptus grandis*, em mistura com poliestireno e polietileno tereftalato**. 2001. 121 f. Tese (Doctor Scientiae)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MARCZAK, R. J. **Polímeros como materiais de engenharia**. Porto Alegre: 2004.

MOLINA, J. C.; CARREIRA, M. R.; JUNIOR, C. C. Análise do Comportamento Mecânico de Perfis Retangulares de Madeira Plástica (Wood Plastic Composite). **Revista Minerva**, São Paulo, v. 6, n.1, p. 47-57, jan. – abr. 2009.

MORESCHI, J. C. Propriedades Tecnológicas da madeira. **Apostila didática**. UFPR

PARENTE, R. A. **Elementos estruturais de plástico reciclado**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PAULESKI, D. T. **Características de compósitos manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)- Universidade federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2005.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

PLASTIVIDA: Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. **Reciclagem: reciclagem mecânica**. São Paulo, 2011. Disponível em: <[http://www.plastivida.org.br/2009/Reciclagem\\_Mecanica.aspx](http://www.plastivida.org.br/2009/Reciclagem_Mecanica.aspx)>. Acesso em: 09 jun. 2011.

RAZERA, D. L. **Estudo sobre as interações entre as variáveis do processo de produção de painéis aglomerados e produtos moldados de madeira**. 2006. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

RODOLFO, A.; JOHN, V. M. Desenvolvimento de PVC Reforçado com Resíduos de *Pinus* Para Substituir Madeira Convencional em Diversas Aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, vol. 16, n° 1, p. 1-11, 2006.

ROLIM, A. M. **A reciclagem de resíduos plásticos pós-consumo em oito empresas do Rio Grande do Sul**. 2000. 131 f. Dissertação (Mestrado em Administração)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SPINACÉ, M. A. da S.; PAOLI, M. A. de P. A. Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.



TAVARES; DEBIASI; DA MATA. **Madeira plástica**. 2007. 74 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Faculdade de Ciências e Tecnologia de Santos, Universidade Santa Cecília, Santos, 2007.

TEIXEIRA, D. E.; MOREIRA, J. M. M. A. P.; COSTA, A. F.. Confecção de composto de madeira-plástico utilizando resíduos de *Eucalyptus grandis* HILL EX Maiden e polietileno de baixa densidade (PEBD). **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n.1, p. 72-80, jan-dez 2002.

ZANIN, M.; MANCINI, S.D. **Resíduos Plásticos e Reciclagem**: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos: EdUFSCar, 2004. 143p.