

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**

**CÂMPUS DE BOTUCATU**

**APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE COMPÓSITOS À BASE DE RESINA  
POLIÉSTER E FIBRA DE VIDRO**

**AIRTON BAGGIO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Programa de pós-graduação em agronomia “Energia na Agricultura”.

**BOTUCATU - SP**

**Setembro - 2005**

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**

**CÂMPUS DE BOTUCATU**

**APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DE COMPÓSITOS À BASE DE RESINA  
POLIÉSTER E FIBRA DE VIDRO.**

**AIRTON BAGGIO**

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Programa de pós-graduação em agronomia “Energia na Agricultura”.

BOTUCATU - SP

Setembro – 2005

*“A mente que se abre a uma nova idéia,  
jamais volta ao seu tamanho original”*

Albert Einstein

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela ajuda em todos os momentos.

A Faculdade de Ciências Agronômicas e ao Departamento de Recursos Naturais – UNESP – Botucatu, pela permissão concedida para concluir o Mestrado.

Ao Prof. Dr. Alcides Lopes Leão, pela oportunidade, indicação, valiosa orientação, conhecimentos e dedicação.

A Induscar-Caio, pela oportunidade e incentivo e aos funcionários e colegas que colaboraram nesta pesquisa.

A Elekeiroz pela valiosa colaboração e conhecimentos prestados.

A todos os amigos que colaboraram para a realização desta pesquisa.

A toda a minha Família pela ajuda, a minha esposa Sílvia e ao meu filho Giovani, pela ajuda e compreensão e *in memórian* a Antonio Aparecido Baggio, que nunca deixou de me ajudar, obrigado Pai.

**SUMÁRIO**

	Páginas
LISTA DE TABELAS .....	VI
LISTA DE FIGURAS .....	VII
1 RESUMO .....	1
2 SUMMARY .....	3
3 INTRODUÇÃO .....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	9
4.1 Plástico.....	9
4.2 Classificação dos polímeros.....	10
4.2.1 Termoplásticos.....	10
4.2.2 Termorrígidos (Termofixos).....	11
4.2.3 Elastômeros.....	11
4.3 Propriedades dos polímeros.....	12
4.3.1 Densidade.....	12
4.3.2 Propriedades mecânicas .....	12
4.3.3 Temperatura de processamento.....	13
4.3.4 Ajuste de propriedades através de aditivação.....	13
4.3.5 Condutividade elétrica.....	14
4.3.6 Condutividade térmica.....	14
4.3.7 Resistência à corrosão .....	14
4.3.8 Permeabilidade.....	15

4.3.9 Reciclabilidade.....	15
4.4 Compósitos termorrígidos.....	16
4.4.1 Tipos de resinas poliéster insaturadas.....	17
4.4.1.1 Resinas ortoftálicas .....	18
4.4.1.2 Resinas isofitálicas .....	19
4.4.1.3 Resinas terefitálicas .....	20
4.4.1.4 Resinas bisfenólicas .....	20
4.4.1.5 Resinas ester vinílicas .....	21
4.4.1.6 Resinas à base de ácido HET .....	21
4.4.1.7 Resinas flexíveis .....	21
4.4.1.8 Resinas auto-extingüíveis .....	22
4.4.1.9 Resinas não-reativas .....	22
4.4.2 Sistema de endurecimento a frio.....	22
4.4.3 Fibras de reforço.....	24
4.4.4 Aditivos em compósitos.....	28
4.4.5 Cargas minerais em compósitos .....	29
4.4.6 Gel-coat.....	30
4.4.7 Desmoldantes.....	30
4.4.8 Solventes.....	31
4.5 Processos de fabricação para compósitos.....	31
4.5.1 Moldagem por contato manual (Hand lay-up).....	32
4.5.2 Moldagem por projeção simultânea (Spray-up).....	33
4.5.3 Moldagem por injeção de resina (RTM).....	35

4.6 A importância da reciclagem.....	37
5 MATERIAL E MÉTODOS .....	47
5.1 Rebarbas geradas na região de Botucatu .....	47
5.2 Classificação das rebarbas e estudos preliminares .....	49
5.3 Confeção de corpos de prova.....	51
5.4 Realização de ensaios.....	53
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
6.1 Resultados preliminares.....	59
6.2 Análise microscópica.....	63
6.3 Viscosidade.....	65
6.4 Dureza.....	66
6.5 Estabilidade dimensional .....	67
6.6 Resistência ao impacto .....	68
6.7 Resistência à flexão .....	70
6.8 Resistência à tração .....	71
6.9 Viscosidade em função do tempo de mistura .....	72
6.10 Resultados práticos operacionais .....	75
7 CONCLUSÃO.....	79
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
9 ANEXOS.....	90

**LISTA DE TABELAS**

Tabelas	Páginas
1. Configurações disponíveis da manta moldável.....	27
2. Espessura do laminado em função do tipo da manta.....	27
3. Geração de rebarbas de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro.....	48
4. Características das placas de ensaios.....	52
5. Resultado dos ensaios físico-mecânicos.....	60
6. Densidade dos materiais.....	61
7. Viscosidade para diferentes tipos de pó de rebarbas.....	62
8. Viscosidade em função do tempo de mistura.....	73
9. Resumo da conclusão.....	82

**LISTA DE FIGURAS**

Figuras	Páginas
1. Nomenclatura para especificação de manta moldável .....	26
2. Processos predominantes na transformação.....	32
3. Esquema de moldagem por contato manual (HLU).....	33
4. Esquema de moldagem por projeção simultânea (Spray-up).....	34
5. Esquema de moldagem por injeção de resina (RTM).....	35
6. Símbolo de reciclagem do PET.....	39
7. Recipiente em forma de prisma com base triangular .....	53
8. Dimensional do corpo-de-prova com paquímetro.....	54
9. Esquema de retirada dos corpos-de-prova nas placas.....	55
10. Pó da rebarba de compósito a base de resina poliéster e fibra de vidro (100 vezes)..	63
11. Pó de calcita (100 vezes).....	64
12. Viscosidade Brookfield da mistura.....	65
13. Dureza Barcol.....	66
14. Contração linear após a polimerização.....	68
15. Resistência ao impacto, Izod, com entalhe.....	69
16. Resistência à flexão.....	70
17.. Resistência à tração.....	71
18. Viscosidade em função do tempo de mistura.....	74

## 1 RESUMO

Nesta pesquisa estudou-se o aproveitamento dos resíduos de compósitos a base de resina poliéster insaturado e fibra de vidro provenientes dos processos de transformação: Moldagem por contato manual “Hand lay-up”, moldagem por projeção simultânea “Spray-up” e moldagem por injeção de resina “Resin Transfer Moulding – RTM”.

As rebarbas de compósitos, oriundas das empresas transformadoras, são descartadas como lixo em aterros industriais ou clandestinos e levam décadas para se degradarem, poluindo, desta forma, o meio ambiente. A utilização destes resíduos pode conduzir ao desenvolvimento de uma nova tecnologia competitiva e sustentável.

Este trabalho propõe a moagem e micronização das rebarbas de compósitos dando origem a um pó fino, contendo resina mais vidro, e substituição da carga mineral (calcita –  $\text{CaCO}_3$ ), tradicionalmente utilizada no processo RTM, por este pó, denominado pó de rebarba de compósito a base de resina poliéster e fibra de vidro.

Confeccionaram-se placas de ensaios variando o tipo de carga, entre calcita e pó de rebarba, e a porcentagem em peso da carga na mistura com a resina. Em corpos-de-prova retirados das placas foram realizados ensaios de resistência à tração,

resistência à flexão, resistência ao impacto e dureza. Complementarmente, foram realizados ensaios de densidade aparente das cargas, viscosidade da mistura, contração linear, exame microscópico e ensaio prático operacional, contribuindo para avaliar a proposta apresentada.

Os resultados obtidos mostraram, que em alguns casos, ocorreram variações de propriedades. Em contrapartida expressaram-se fatores limitantes como por exemplo a viscosidade da mistura contendo pó de rebarba. Entretanto, pode-se afirmar que, tanto tecnicamente quanto operacionalmente, é possível a substituição do pó de calcita pelo pó de rebarba de compósito no processo de moldagem por injeção de resina – RTM.

Este estudo mostra que a substituição da carga mineral calcita pelo pó de rebarba de compósito pode representar uma solução ecológica para o problema de descartes das rebarbas de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro em aterros. A viabilidade econômica do processo precisa, ainda, ser analisada e está diretamente condicionada ao estudo do sistema de moagem e micronização das rebarbas para uma produção de pó em escala industrial, de modo que seu custo não ultrapasse a soma do custo do pó de calcita com o custo de descarte das rebarbas em aterros industriais. Além disso, a substituição do pó de calcita por pó de rebarba na mistura com a resina, deve ocorrer na mesma proporção em peso, respeitando-se a viscosidade máxima operacional.

## 2 SUMMARY

In this research the exploitation of the residues of composites was studied the resin polyester not saturated and fiber glass proceeding from the transformation processes: Molding for manual contact "Hand lay-up", molding for simultaneous projection "Spray-up" and molding for resin injection "Resin Transfer Moulding - RTM".

The barbs of composites, deriving of the transforming companies, they are discarded as garbage in appropriate or clandestine places and take decades to be degraded, contaminating, of this form, the environment. The use it of these residues can lead to the development of a new competitive and sustainable technology.

This work considers the milling and particle's formation of the barbs of composites giving origin to a fine dust, contend resin more glass, e substitution of the mineral load (calcite -  $\text{CaCO}_3$ ) traditionally used in process RTM for this dust, called dust of composite barb the resin base polyester and fiber glass.

Plates of assays had been confectioned varying the type of load, between calcite and dust of barb, e the percentage in weight of the load in the mixture with the

resin. In body-of-test removed of the plates assays of tensile strenght had been carried through, resistance to the flexion, resistance to the impact and hardness. Complementarily, assays of apparent density of loads had been carried through, viscosity of the mixture, linear contraction, microscopical examination and operational practical assay, contributing to evaluate the proposal presented.

The gotten results had shown, that in some cases, had occurred variations of properties. On the other hand limitantes factors had been expressed as for example the viscosity of the mixture contends barb dust. However, it can be affirmed that, in such a way technical how much operationally, the substitution of the dust of calcite for the dust of barb of composite in the process of molding for resin injection is possible – RTM.

This study sample that the substitution of the calcite mineral load for the dust of composite barb, can represent an ecological solution for the problem of discardings of the barbs of composites the resin base polyester and fiber glass in landfills. The economic viability of the necessary process, still, to be analyzed and is directly conditional to the study of the system of milling and particle's of the barbs for a dust production in industrial scale, in way that its cost does not exceed the addition of the cost of the dust of calcite with the cost of discardng of the barbs in industrial landfills. Moreover, the substitution of the dust of calcite for dust of barb in the mixture with the resin must occur in the same ratio in weight, respecting itself it operational maximum viscosity.

### **3 INTRODUÇÃO**

O aumento da competição global vem forçando as indústrias que têm seus produtos voltados à exportação, a adotarem técnicas de administração e de produção mais efetivas. Tais empresas, sejam elas de grande ou pequeno porte, estão implementando programas de qualidade - Série ISO 9000 - e sistemas de gestão ambiental - Série ISO 14000. A maioria das corporações multinacionais que operam no Brasil deve, por exigência de sua matriz internacional, obedecer a regulamentos ambientais estabelecidos pelo país de origem. Algumas dessas multinacionais usam os mesmos fornecedores para suprir as tecnologias de gestão de excedentes sólidos para suas operações mundiais (FIESP, 2003).

A União Européia tem dificultado a entrada de bens brasileiros em seu mercado se esses não obedecerem às técnicas de produção ambientalmente seguras. As normas ISO têm importante efeito multiplicador, porque requerem que as empresas certificadas exijam de seus fornecedores os mesmos princípios de gestão. A indústria automobilística brasileira, por exemplo, exige de seus fornecedores de autopeças que implementem programas de qualidade, como os das normas QS 9000 e ISO 9000 em suas instalações (FIESP, 2003).

O Sistema de Gestão Ambiental - SGA - é definido como um conjunto de ações visando à diminuição dos aspectos e impactos ambientais de suas atividades, produtos e serviços. Em várias fases do processo de implementação do SGA é necessário o controle completo sobre o descarte de poluentes e, dentre estes, os excedentes sólidos industriais, os quais são partes integrantes do sistema, obrigando que as empresas tenham um controle específico sobre sua gestão. Até junho de 2003, cerca de mil empresas já haviam obtido a Certificação Ambiental da ISO 14001 no Brasil, sendo que o estado de São Paulo contribui com cerca de 50% deste total. Na legislação brasileira há restrições financeiras que podem ser impostas a qualquer indústria ou projeto que possuem elevado impacto negativo ao meio ambiente (REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL, 2003).

O Ministério do Meio Ambiente planeja criar um banco de dados de passivo ambiental, que listará todas as empresas que causam ou causaram algum dano ou impacto ao ambiente, podendo ser usado pelas instituições financeiras para avaliar as solicitações de crédito para as companhias listadas. Além desse fato, há a questão de disposição final dos resíduos industriais, muitos deles Classe I, que levam as empresas a investirem em programas de minimização da quantidade e complexidade dos resíduos gerados (FIESP, 2003).

Observa-se uma carência expressiva de locais adequados destinados ao tratamento ou disposição final de excedentes sólidos industriais e, mesmo aqueles em operação, estão distribuídos de forma pulverizada porém em quantidade insuficiente no Estado de São Paulo. A dificuldade na disseminação de novos locais, seja para o tratamento ou seja para a disposição final de excedentes sólidos industriais, por sua vez, está atrelada a três fatores principais complicadores: o alto custo de implementação, a lentidão do processo de análise e licenciamento de novas unidades e, por último, a repulsa de prefeituras na implementação de sistemas de tratamento e disposição final dos excedentes sólidos industriais (CETESB, 2004).

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB exige do responsável pela contaminação ou do proprietário do terreno atingido, nas hipóteses em que é possível esta identificação, a remediação e monitoramento da área contaminada. O custo para esta descontaminação pode ser extremamente elevado. Em 2003, a CETESB

divulgou o levantamento com 727 áreas contaminadas no Estado. Desse total, 312 áreas estão com proposta de remediação ou com remediação em andamento (CETESB, 2004).

Para implementar um processo de coleta seletiva e reciclagem há necessidade, preliminarmente, de conhecer, pelo menos de forma resumida, quais os materiais mais comuns que podem ser reciclados dentro de uma empresa. Para facilitar tal conhecimento, a Fiesp (2003), recomenda a elaboração de fichas contendo informações sobre os materiais reciclados mais comuns dentro de uma empresa. Estas fichas devem conter informações conforme relatadas a seguir:

- Denominação do material a ser reciclado. Como exemplo a Fiesp cita os metais, plásticos, lâmpadas fluorescentes;
- Código de cor para a reciclagem, em conformidade com a Resolução Conama 275/2001;
- Simbologia, em conformidade com a Simbologia Brasileira de Identificação de Materiais;
- Informações sobre o material reciclado, fonte de geração dentro da empresa, classificação quanto ao risco potencial ao meio ambiente, armazenamento, transporte, principal destino final aplicado ao excedente;
- Limitações sobre a reciclagem do excedente.

A classificação quanto ao risco potencial ao meio ambiente, relacionada nas tabelas, serve somente como forma de orientação. A Fiesp (2003) exemplifica que os plásticos são classificados como Classe II, porém, se contaminados com solventes, são classificados como Classe I conforme NBR 10.004 (2004).

Dessa forma, o desenvolvimento de alternativas relativas da reciclagem de materiais a base de resina poliéster e fibra de vidro representa um avanço em relação aos tradicionais métodos de disposição final em aterros industriais.

O campo da reciclagem dos resíduos sólidos gerados pela indústria de resinas termofixas reforçadas com fibras, no Brasil, é pequeno e relativamente novo. Por muito tempo, esses plásticos não foram considerados recicláveis, devido à estruturação irreversível de suas moléculas, conhecida como infusibilidade. São diferentes dos termoplásticos, onde a ação do calor, com temperaturas próximas de 200° C, permite novas moldagens das peças (REVISTA DO PLÁSTICO REFORÇADO, 2002).

Segundo a mesma fonte, existem sistemas de reaproveitamento dos compósitos já consagrados no exterior. Como exemplo, os processos de dissociação dos poliésteres sob elevadas temperaturas em presença de água ou álcool. É o caso da hidrólise, caracterizada pela ocorrência de uma reação química inversa da original, que levou à síntese desses polímeros, gerando glicóis de alto peso molecular, interligados por estireno, e que podem ser reaplicados em espumas de poliuretanos, entre outros destinos. Na alcoólise, o sistema é bastante semelhante à hidrólise. A principal diferença é a utilização de álcool no lugar de água. Na pirólise, ocorre a mesma quebra das ligações entre os monômeros e a produção de moléculas menores, como citado nos dois primeiros exemplos. Realizada num ambiente isento de oxigênio e sob elevadas temperaturas, esse sistema difere dos outros por garantir a decomposição de qualquer tipo de polímero. Já a ozonólise recupera apenas as fibras de vidro dos resíduos, através da decomposição das resinas num reator plasmático com a aplicação de ozônio. Porém, os quatro sistemas exigem um volume elevado de investimentos que, por enquanto, o mercado brasileiro não é capaz de suportar.

Diante do exposto, pretende-se neste trabalho, estudar o reaproveitamento das rebarbas de compósitos termorrígidos a base de resina poliéster e fibra de vidro, direcionando aos processos mecânicos, ou seja, através da moagem das rebarbas e transformando-as em pó tão fino de modo a substituir o carbonato de cálcio (calcita), carga mineral de uso freqüente nos processos de transformação que utilizam resinas insaturadas para a fabricação de peças em compósitos termorrígidos, em específico ao processo de moldagem por injeção de resina (RTM) por se tratar de um processo em fase de ampliação no cenário atual das indústrias do seguimento de compósitos com matrizes termorrígidos.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para embasar a discussão aqui apresentada, serão utilizados trabalhos de estudiosos como Donaire (1999), Gorni (2004), Guedes & Filkauskas (1986), Kinlaw (1997), Mano (1991 – 2004), Michaeli (1995) e North (1992) e textos, manuais, códigos normativos e outros documentos de empresas e associações ligadas ao segmento de polímeros, compósitos e proteção ambiental.

### **4.1 Plástico**

Os plásticos são materiais pertencentes à família dos polímeros e provavelmente, o mais popular. Polímeros são materiais formados por macromoléculas. Essas macromoléculas são cadeias constituídas pela repetição de uma unidade básica, chamada “mero”. Daí o nome: poli (muitos) + mero. Os meros estão dispostos um após o outro, como pérolas num colar. Uma macromolécula assume formato muito semelhante ao de um cordão. Michaeli (1995) faz uma analogia quanto à disposição das moléculas de um polímero e a sua

semelhança a um novelo de lã. É difícil extrair um fio de um novelo de lã. Também é difícil remover uma molécula de uma porção de plástico, pois as cadeias “seguram-se” entre si.

A matéria-prima que dá origem ao polímero chama-se monômero. Por sua vez, o monômero é obtido a partir do petróleo ou gás natural, pois é a rota mais barata. É possível obter monômeros a partir de madeira, álcool, carvão e até do CO<sub>2</sub>, pois todas essas matérias-primas são ricas em carbono, o átomo principal que constitui os materiais poliméricos. Todas essas rotas, contudo, aumentam o preço do monômero obtido, tornando-o não-competitivo. No passado, os monômeros eram obtidos de resíduos do refino do petróleo. Hoje o consumo de polímeros é tão elevado que esses “resíduos” precisam ser produzidos intencionalmente nas refinarias para dar conta do consumo (GORNI, 2003).

## **4.2 Classificação dos polímeros**

Segundo Mano (2004) há diversas maneiras de se dividir os polímeros. A classificação conforme as características mecânicas talvez seja a mais importante. Ela decorre, na verdade, da configuração específica das moléculas do polímero. Sob este aspecto, os polímeros podem ser divididos em termoplásticos, termorrígidos (termofixos) e elastômeros (borrachas).

### **4.2.1 Termoplásticos**

Termoplásticos são sub-grupos dos plásticos, constituindo a maior parte dos polímeros comerciais. A principal característica desses polímeros é poder ser fundido diversas vezes. Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em vários solventes. Logo, sua reciclagem é possível, uma característica bastante desejável nos dias de hoje (MANO, 2004).

Segundo o referido autor, as propriedades mecânicas variam conforme o plástico. Dependendo da temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo

frágeis. Sua estrutura molecular é formada por moléculas lineares dispostas na forma de cordões soltos, mas agregados, como num “novelo de lã”. O autor exemplifica alguns materiais termoplásticos como: polietileno “PE”, polipropileno “PP”, politereftalato de etileno “PET”, policarbonato “PC”, poliestireno “PS”, policloreto de vinila “PVC”, polimetilmetacrilato “PMMA”.

#### **4.2.2 Termorrígidos (Termofixos)**

Os termofixos apresentam elevada rigidez e fragilidade, sendo muito estáveis as variações de temperatura. Após a cura, não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado a altas temperaturas promove decomposição do material antes de sua fusão. Logo, sua reciclagem é complicada (MANO, 2004). De acordo com o autor, a estrutura molecular é formada por “cordões”, os quais estão ligados quimicamente entre si, formando uma rede ou reticulado. Eles estão presos entre si através de numerosas ligações, não se movimentando com alguma liberdade, como no caso dos termoplásticos. A sua estrutura interna pode ser associada com uma rede de malha muito fina. O autor exemplifica alguns materiais termorrígidos como: baquelite, usada em tomadas e no embutimento de amostras metalográficas; compósito de poliéster com fibra de vidro usado em carrocerias; caixas d'água e piscinas.

#### **4.2.3 Elastômeros (Borrachas)**

Os elastômeros pertencem à classe intermediária entre os termoplásticos e os termorrígidos e que não são fusíveis, mas apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termofixos. A reciclagem desse material é complicada pela incapacidade de fusão, de forma análoga aos termorrígidos (MANO, 2004). Ainda segundo o autor, a estrutura molecular é similar à do termorrígido mas, neste caso, há menor número de ligações entre os “cordões”. Ou seja, é como se fosse uma rede, mas com malhas bem mais

largas que os termorrígidos. Exemplifica alguns elastômeros como os pneus e mangueiras de borracha.

### **4.3 Propriedades dos polímeros**

Os polímeros, segundo Gorni (2003), Mano (2004), Guedes & Filkauskas (1986), apresentam propriedades físicas, mecânicas e químicas com características específicas e de amplo interesse industrial como poderá ser verificado na seqüência deste capítulo.

#### **4.3.1 Densidade**

Gorni (2003) descreve que a densidade dos polímeros é menor comparada aos metais ou cerâmica. Exemplifica, ainda, que o polietileno “PE”, é três vezes mais leve que o alumínio e oito vezes mais leve que o aço, o que implica em motivação para uso na indústria de transportes, embalagens e equipamentos esportivos.

#### **4.3.2 Propriedades mecânicas**

Os polímeros apresentam alta flexibilidade, com valores variando ao longo de uma faixa bastante ampla conforme o tipo de polímero e os aditivos usados em sua formulação. Também é característica de alguns dos polímeros a alta resistência ao impacto. Tal propriedade, associada à transparência, permite substituição do vidro em várias aplicações tais como as lentes de óculos (em acrílico ou policarbonato), faróis de automóveis (policarbonato), janelas de trens. Gorni (2003) salienta, contudo, que a resistência à abrasão e aos solventes não é tão boa quanto a do vidro. Lentes de acrílico riscam facilmente e são danificadas ao entrarem em contato com solventes como a acetona.

### **4.3.3 Temperatura de processamento**

A temperatura de processamento dos polímeros é relativamente baixa se comparada a outros materiais. A conformação de peças requer aquecimento entre as temperaturas-ambiente de 250°C. Alguns plásticos especiais requerem até 400°C de temperatura para processamento. Disso decorre o baixo consumo de energia para conformação e também a utilização de equipamentos mais simples e não tão dispendiosos, quando comparados aos utilizados nos processamentos de metais ou materiais cerâmicos (GUEDES & FILKAUSKAS, 1986).

### **4.3.4 Ajuste de propriedades através de aditivação**

Aditivos em polímeros são materiais adicionados como componentes auxiliares. Sua inclusão nas formulações ou composições dos polímeros visa uma ou mais aplicações específicas como, por exemplo, reduzir o custo, modificar e ou melhorar propriedades, facilitar o processamento e colorir. Os principais aditivos para os polímeros são: fibras de reforços ou reforços fibrosos, cargas inorgânicas minerais, plastificantes, lubrificantes, pigmentos, corantes, antioxidantes, antiozonantes, absorvedores de raios ultravioletas, retardantes de chamas, estabilizantes térmicos, agentes de expansão, agentes antiestáticos, agentes aromatizantes, antifungos e modificadores de impacto (HIDROPLAS, 1994).

Cargas inorgânicas minerais inertes como, por exemplo, o carbonato de cálcio “CaCO<sub>3</sub>”, permitem reduzir custo da peça sem afetar propriedades. Guedes & Filkauskas (1986), exemplificam a utilização destes materiais em piso de vinil e cadeiras de jardim em polipropileno “PP”, que contém até 60% de cargas. O uso de fibras (vidro, carbono, boro) ou algumas cargas minerais (talco, mica, caulim, wolastonita) aumentam a resistência mecânica. As cargas fibrosas podem assumir formas de fibras curtas ou longas. O negro de fumo em pneus (borracha) e em filmes para agricultura, polietileno “PE”, aumentam a resistência mecânica e a resistência ao ataque por raios ultravioleta “UV”. O autor menciona

ainda que aditivos conhecidos como plastificantes podem alterar completamente as características de plásticos como o policloreto de vinila “PVC” e borrachas, tornando-os mais flexíveis e tenazes.

#### **4.3.5 Condutividade elétrica**

Os polímeros apresentam baixa condutividade elétrica, sendo altamente indicados para aplicações onde se requeira isolamento elétrico. Os polímeros não contêm elétrons livres, responsáveis pela condução de eletricidade nos metais. A adição de cargas especiais condutoras, como limalha de ferro e negro de fumo, pode tornar os polímeros fracamente condutores, evitando acúmulo de eletricidade estática, o que é perigoso em certas aplicações (GORNÍ, 2003).

#### **4.3.6 Condutividade térmica**

A condutividade térmica dos polímeros é cerca de mil vezes menor que a dos metais. Sendo, portanto, altamente recomendados em aplicações que requeiram isolamento térmico, particularmente sob a forma de espumas. A explicação é a mesma que a do caso anterior: ausência de elétrons livres dificulta a condução de calor nos polímeros (GORNÍ, 2003).

#### **4.3.7 Resistência à corrosão**

As ligações químicas presentes nos plásticos lhes conferem maior resistência à corrosão por oxigênio ou produtos químicos do que no caso dos metais (ligação metálica). Isso, contudo, não significa dizer que os plásticos sejam completamente invulneráveis ao problema, salienta o autor. Segundo ele, o “CD” disco compacto, por ser

fabricado em policarbonato, não pode ser limpo com terebintina, pois tal procedimento danificaria a sua superfície. De maneira geral, os polímeros são solubilizados por solventes orgânicos que apresentam estruturas similares a eles. Ou seja: “similares diluem similares ...” (MANO, 1991).

#### **4.3.8 Permeabilidade**

O espaço entre as macromoléculas do polímero é relativamente grande. Isso confere baixa densidade ao polímero, o que é uma vantagem sob certos aspectos. Esse largo espaçamento entre moléculas faz com que a difusão de gases através dos plásticos seja alta. Em outras palavras, esses materiais apresentam alta permeabilidade a gases, que varia conforme o tipo de plástico. A principal consequência deste fato é a limitação dos plásticos como material de embalagem, que fica evidente no prazo de validade mais curto de bebidas acondicionadas em garrafas de politereftalato de etileno “PET”, por exemplo. Essa permeabilidade, contudo, pode ser muito interessante, como no caso de “membranas poliméricas para remoção de sal da água do mar” (GORNI, 2003).

#### **4.3.9 Reciclabilidade**

Alguns polímeros, como termorrígidos e elastômeros, não podem ser reciclados de forma direta, não há como refundi-los ou depolimerizá-los. A reciclagem de polímeros termoplásticos, apesar de tecnicamente possível, muitas vezes não é economicamente viável devido ao seu baixo preço e baixa densidade. Comparado à reciclagem do alumínio, somente plásticos consumidos em larga escala, como é o caso do polietileno “PE” e politereftalato de etileno “PET”, apresentam bom potencial econômico para reciclagem. Um problema adicional é que o plástico reciclado é encarado como material de segunda classe, ao contrário do que ocorre com aço ou mesmo o alumínio (GORNI, 2003). Segundo o mesmo autor, nos casos em que a reciclagem do polímero não é viável, sempre é

possível queimá-lo, transformando-o em energia, em incineradores ou alto-fornos. Esta última saída é mais favorável, pois o carbono do polímero seria usado na redução do minério. Contudo, plásticos que contêm halogêneos como, por exemplo, o policloreto de vinila “PVC” e politetraflúor etileno “PTFE”, geram gases tóxicos durante a queima. A solução é a identificação desse material, para que possa ser encaminhado para dehalogenação antes da queima.

#### **4.4 – Compósitos termorrígidos**

Compósitos termorrígidos são materiais de moldagens estruturais, formados por uma fase contínua polimérica (matriz) e reforçadas por uma fase descontínua (fibras) que se agregam físico-quimicamente após um processo de *cross-linking* polimérico (cura). Normalmente a fase descontínua é formada por fibra de vidro, de aramida ou de carbono, dependendo da aplicação final (ABMACO, 2004).

A fase polimérica é geralmente composta por uma resina termofixa do tipo poliéster insaturado (ortoftálica, tereftálica, isoftálica ou bisfenólica), dissolvida em solvente reativo como estireno ou ainda uma resina éster-vinílica ou epóxi. Resinas especiais como as fenólicas, de poliuretano e de silicone, são utilizadas em aplicações especiais. Na moldagem destas duas fases ocorre um *cross-linking* polimérico por meio de um processo de cura, que acopla as duas fases proporcionando ao material final, propriedades especiais que definem sua moderna e ampla aplicabilidade. Leveza, flexibilidade, durabilidade, resistência, adaptabilidade são algumas das propriedades que garantem aos compósitos o título de produto do futuro. Engenheiros e técnicos procuram cada vez mais os compósitos como solução para seus projetos de engenharia. Estados Unidos, Japão, Canadá, Europa e Brasil, têm no compósito um mercado em franca expansão (ABMACO, 2004).

Os compósitos apresentam excepcional resistência química, o que permite sua utilização em uma ampla gama de ambientes quimicamente agressivos. Além disso, aditivos especiais e resinas específicas estão à disposição dos técnicos para solucionar aplicações que requeiram propriedades além das usuais. A umidade, o vento, o sol e as

oscilações térmicas têm baixa ação prejudicial sobre os compósitos, pois, a resistência às intempéries também é uma característica dos mesmos. E, quando características não usuais são requeridas, empregam-se amplamente, aditivos como protetores de raios ultravioleta “UV”, agentes anti-dust e resinas especiais (ELEKEIROZ, 2004).

A flexibilidade arquitetônica confere aos compósitos uma grande vantagem sobre outros materiais estruturais, pois moldes com formas complexas são facilmente adaptáveis aos processos em utilização, permitindo uma maior exploração das curvas, formas diferenciadas e detalhes arquitetônicos. Os compósitos, devido à sua composição e ao *cross-linking* polimérico formado durante o processo de moldagem, apresentam como característica uma alta durabilidade (ABMACO, 2004).

Os compósitos termorrígidos, além de sua longevidade tradicional, apresentam leveza e facilidade de transporte devido a baixa densidade de sua composição formada por resina e fibras de reforços, possuem, também, fáceis e simples técnicas de reparo e manutenção, apresentando, também, uma excelente resistência mecânica. Estas propriedades possibilitam a sua utilização e aplicação no setor de aeronáutica, naval, automobilístico e construção civil. Compósitos são sinônimos de produtos feitos sob medida. Decidir pela utilização de um compósito é ter à sua disposição a possibilidade de resolver seus problemas de engenharia com um produto feito sob medida, isto é, um produto fabricado na medida certa e exata de sua necessidade (HIDROPLAS, 1994).

#### **4.4.1 Tipos de resinas poliéster insaturados**

As resinas poliésteres constituem uma família de polímeros de alto peso molecular resultantes da condensação de ácidos carboxílicos com glicóis, classificando-se como resinas saturadas ou insaturadas, dependendo, especificamente, dos tipos de ácidos utilizados, que irão caracterizar o tipo de ligação entre os átomos de carbono da cadeia molecular. Desta maneira, originarão moléculas formando o poliéster. No caso do poliéster saturado, resulta num produto termoplástico. Já o poliéster insaturado, resulta num produto termorrígido (ELEKEIROZ, 2004).

Segundo a mesma fonte, o poliéster saturado é obtido pela reação entre um biálcool e um biácido saturado, resultando num produto termoplástico, cuja cadeia molecular é composta apenas por simples ligação entre os átomos de carbono, o que caracteriza a flexibilidade dos produtos obtidos com o poliéster saturado. Pode ser utilizado com ou sem reforço, e seu emprego é bem diverso: filmes, fibras sintéticas, plastificantes poliméricos e até produtos de engenharia como tampa de tanque de combustível. O poliéster insaturado é obtido pela reação entre um ácido insaturado, um ácido saturado e um biálcool, resultando após a cura num produto termorrígido, cuja cadeia molecular é composta por simples e duplas ligações entre os átomos de carbono. É diluído num monômero vinílico inibido, para facilitar sua utilização. O monômero tem função de diluente, fator que controla a viscosidade da resina, o mais utilizado é o monômero de estireno, ou vinil benzeno, devido a razões técnicas e econômicas. Inicialmente o poliéster insaturado encontra-se no estado líquido e após a adição de promotores transforma-se no estado sólido, caracterizando uma estrutura termorrígida, irreversível. Pode ser utilizado com ou sem reforço. Uma vez reforçado se transforma em um plástico de engenharia com ótimas propriedades físico-mecânicas, substituindo muitas vezes materiais como aço, ferro e concreto.

#### **4.4.1.1 Resinas ortoftálicas**

As resinas ortoftálicas são produzidas a partir do ácido ortoftálico. Esse tipo de resina não possui boa resistência química e térmica e sua temperatura de termodistorção (HDT) está em torno de 70° C, sendo distribuídas em categorias de acordo com a sua utilização (ELEKEIROZ, 2004):

- As resinas ortoftálicas cristais são utilizadas onde a transparência é requerida ou a pigmentação não pode sofrer interferências. Normalmente apresentam alta viscosidade. Indicadas para a produção de telhas, domos, botões e estatuários. Podem ser estabilizadas à luz, contém os chamados absorventes de luz ultravioleta. Estes tipos de resinas contêm agentes tixotrópicos, isto

é, agentes que impedem que a resina escoe quando aplicada em uma superfície na posição vertical. Podendo ser pré-aceleradas ou estabilizadas sobre a ação da luz.

- As resinas ortoftálicas Standard, também conhecidas como resinas básicas, podem ser utilizadas nos mais diversos sistemas de produção. Aceitam a adição de aceleradores, agentes tixotrópicos, absorvedores de raios ultravioletas, pastas pigmentadas. A vantagem da utilização deste tipo de resina é que o consumidor poderá dosar seu aditivo nas proporções que melhor aprover, não tendo que se adaptar aos valores fixos determinados pelos fabricantes. Normalmente são utilizadas em gel coats, gel primers, laminação a quente e a frio. É possível uma enorme variação de características por meio de pequenas modificações na formulação deste tipo de resinas. É possível destacar, ainda, as viscosidades elevadas ou baixas; reatividades altas, baixas ou médias; mais rígida ou menos rígida, tudo em razão da variação das proporções de mais ou menos anidrido maleico ou ainda a troca de glicóis, ocasionando maior ou menor tempo de reação e assim por diante.

#### **4.4.1.2 Resinas isoftálicas**

As resinas isoftálicas são produzidas a partir do ácido isoftálico e apresentam boas resistências químicas, térmicas e mecânicas. Há dois tipos principais: as resinas isoftálicas comuns e as com neopentilglicol (NPG). As resinas isoftálicas comuns são normalmente formuladas com propileno glicol. Apresentam termo-distorção por volta de 100° C e resistência química ligeiramente superior às resinas ortoftálicas. São indicadas para produções de moldes, modelos, estrutura de tanques e tubulações para produtos químicos ou saneamento básico. Enquanto as resinas isoftálicas com NPG, são formuladas com neopentilglicol, apresentando uma termo-distorção por volta de 130°C, resistência química

muito superior às ortoftálicas. Antes do surgimento das resinas tereftálicas, as resinas isoftálicas apresentavam maior resistência mecânica e elétrica dentre as resinas poliéster. Indicadas para gel-coats de banheira de hidromassagem e piscinas, barreira química e estrutura de tubulações, tanques para combate à corrosão e saneamento básico, massas para prensagem, revestimentos industriais, peças para a indústria elétrica inclusive para alta tensão. Resistentes à água fervente, à água do mar, à alguns ácidos e bases, em diversas temperaturas e concentrações (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.3 Resinas tereftálicas**

As resinas tereftálicas são produzidas a partir do ácido tereftálico. Apresentam excelentes resistências mecânicas, térmicas e elétricas. Sua resistência química é ligeiramente superior a isoftálica em alguns meios corrosivos. As resinas tereftálicas com NPG são formuladas com neopentilglicol. Apresentam termo-distorção por volta de 140 ° C. As indicações de aplicação desta resina são idênticas as isoftálica com NPG. As resinas tereftálica comuns, formuladas basicamente com propileno glicol, apresentam temperatura em termo-distorção, por volta de 100°C. A resistência química e mecânica desse tipo de resina é inferior aos tipos formuladas com NPG. As resinas tereftálica no Brasil têm sido muito utilizadas devido suas altas propriedades mecânicas (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.4 Resinas bisfenólicas**

As resinas bisfenólicas são formuladas a base de bisfenol “A” modificado e apresentam ótimas resistências químicas. Sua temperatura de termo-distorção está em torno de 120°C. Resiste a diversos ácidos e bases. Essa resina é de largo emprego no combate à corrosão industrial. Indicada para a construção de tubulações, tanques e revestimentos industriais. É normalmente fornecida na forma pré-acelerada (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.5 Resinas Éster-vinílicas**

As resinas éster-vinílicas são obtidas a partir da reação do epóxi com ácido metacrílico. Esta resina também é dissolvida em estireno como as demais resinas poliéster, embora alguns autores separem-na da resina poliéster. Existem dois tipos fundamentais desta resina. O primeiro tipo apresenta uma boa resistência química a ácidos e bases, apresenta temperatura de termo-distorção por volta de 110°C. O segundo tipo apresenta uma boa resistência química a agentes oxidantes fortes e alguns solventes e apresenta termo-distorção por volta de 137°C. Tais resinas são indicadas para a construção de tanques, tubulações e revestimentos industriais, chaminés, coifas e lavadores de gases. Apresentam grande alongamento da ruptura (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.6 Resinas à base de ácido HET**

As resinas à base de ácido het são formuladas à base de ácido hexacloroendome bilenotetraidroftálico e NPG. Apresentam boa resistência a agentes oxidantes e a alguns solventes. A temperatura de termo-distorção gira em torno de 137°C. Apresentam características ignífugas por serem alucinadas (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.7 Resinas flexíveis**

As resinas flexíveis normalmente apresentam-se associadas a um tipo de resina poliéster para conferência de algumas propriedades específicas, como o aumento da flexibilidade, abaixamento do pico exotérmico, como aditivo para massas de prensagens. A resina flexível possui temperatura de termo-distorção extremamente baixa, ao redor de 40°C. Pode-se empregar ácido adípico, na obtenção desse tipo de resina em virtude do mesmo ser um ácido saturado com cadeia molecular longa, obtendo-se espaçamento nas ligações ésteres, que são os pontos rígidos (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.8 Resinas auto-extingüíveis**

As resinas auto-extingüíveis são usadas onde há exigências por segurança ou normalização em evitar-se a propagação do fogo. Existem resinas formuladas com halogêneos que contêm, como matérias-primas principais, o tetracloroftálico ou tetrabromoftálico, de modo que as resinas depois de curadas e na presença de uma chama, liberam gases cloro ou bromo, com conseqüente extinção do fogo, desde que cessada a fonte, ou ainda o uso em resinas não halogenadas carregadas com alumina hidratadas, parafinas cloradas e trióxido de antimônio. Existem várias normas que controlam tais mecanismos: tempo de auto-extinção da chama e extinção de queima, liberação de fumaça, dentre outros. Entre estas, uma das mais exigidas é a ASTM D635 (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.1.9 Resinas não reativas**

As resinas não-reativas são indicadas para a produção de pastas pigmentadas e isentas de monômero de estireno. A causa de não serem reativas é evitar que, durante a moagem do pigmento, normalmente em moinho de rolos, haja endurecimento da resina, pois há liberação de calor (ELEKEIROZ, 2004).

#### **4.4.2 Sistema de endurecimento a frio**

As resinas denominadas como pré-aceleradas, só podem ser processadas a frio. A pré-aceleração da resina significa que já contém um promotor que acelerará a decomposição de radicais livres de um peróxido orgânico para o endurecimento da resina poliéster, isto é, a cura. Estes aceleradores são na maioria das vezes sais de cobalto, por exemplo, o octoato ou naftenato de cobalto. Pode-se, ainda, em casos específicos, ter resinas pré-aceleradas com DMA – dimetil anilina – que somente irão reagir com o peróxido de

benzoíla, ou ainda, aceleradas em conjunto com sais de cobalto e DMA, esta última reagirá normalmente com o peróxido de metil etil cetona – MEKP (CARVALHO, 2002).

Quando se dilui na resina, em proporções adequadas, o composto de sais de cobalto e peróxido de metil etil cetona, há liberação de calor e posterior endurecimento da mesma. O peróxido de metil etil cetona é conhecido na sua forma abreviada MEKP, que não deve ser confundido com o solvente MEK – metil etil cetona. O MEKP apresenta-se em estado líquido transparente, cristalino com concentração de 50% de dibutilftalato. A preocupação com a qualidade deste produto é necessária, uma vez que poderá afetar na cura da resina poliéster (ELEKEIROZ, 2004).

O dimetil anilina é conhecido como DMA. Possui a tendência de amarelamento nos laminados executados com este produto, há elevação do pico exotérmico. É altamente tóxico, inclusive a pele absorve extremamente, sendo necessário o uso de luvas durante a sua manipulação e deve-se evitar aspirar seus vapores. Sua aplicação é indicada quando se trabalha em ambientes úmidos e frios. Seu uso em conjunto com sais de cobalto, proporciona condições de trabalho com temperaturas abaixo de 15°C e gel-time extremamente rápido, quando necessário. Convém trabalhar-se com este produto diluído para facilitar a dosagem (CARVALHO, 2002).

Segundo o mesmo autor, o peróxido de benzoíla, conhecido também como BPO ou PBO é fornecido em forma de pasta e com 50% de concentração. É utilizado a frio em conjunto com o DMA ou a quente em temperaturas superiores a 80° C. Há outros peróxidos e aceleradores, para tanto é importante contatar os fabricantes desses produtos para o uso adequado, condições de armazenamento e seus limites. Uma fase importante no sistema de cura a frio é a determinação do “Gel-time”. Gel-time, ou tempo de gelatinização, é o tempo útil que o operador tem para a aplicação das resinas. Dois fatores influenciam a variação do tempo de gelatinização: a oscilação da temperatura e a variação da umidade relativa do ar.

É conveniente traçar um gráfico para cada tipo de resina com variação de temperatura e dosagens de peróxido e aceleradores para um acompanhamento adequado da aplicação da resina poliéster. Convém salientar que há diferenças de “gel-time” para cada tipo de resina, ou ainda de fabricante para fabricante. Pico exotérmico é a temperatura máxima que

uma determinada massa de resina atinge durante seu processo de endurecimento com determinadas quantidades de acelerador e catalisador. O pico exotérmico ocorre após o gel-time (ELEKEIROZ, 2004).

No sistema de endurecimento a quente, as resinas utilizadas não deverão ser pré-aceleradas. A temperatura utilizada está compreendida na faixa de 80° C a 150° C. A temperatura escolhida determinará o tipo de catalisador a ser utilizado, bem como o tempo de endurecimento. Os principais processos onde se utiliza a cura a quente são o BMC (massas prensadas) ou SMC (laminados prensados) (ABMACO, 2004).

Em geral, uma pequena porcentagem do peso, após a cura dos produtos termorrígidos, é constituída por estireno residual não polimerizado. O estireno residual é proveniente do catalisador empregado na polimerização da resina. Esse estireno livre permanece sem polimerizar durante vários dias após a laminação da peça. Ele atua como plastificante podendo reduzir a dureza superficial, afetar a estabilidade dimensional e a pintura final. O pós-cura é uma operação recomendável quando se trabalha no sistema de endurecimento a frio e quando a peça ou produto for utilizado em condições severas, por exemplo, peças ou revestimentos de área de corrosão, contato com alimento ou até mesmo em uma produção em série, onde a superfície lisa da peça denominada gel-coat, recebe pintura de acabamento. Para todos esses casos, o teor de estireno pode ser reduzido a valores inferiores a 0,1% em peso do laminado. O processo de pós-cura consiste em aplicar-se ar quente sobre o produto, onde a temperatura e o tempo de permanência depende do tipo de catalisador empregado. O objetivo do pós-cura é diminuir o nível de estireno residual. (CARVALHO, 2002).

#### **4.4.3 Fibras de reforço**

As fibras de reforços são materiais fibrosos que, quando adequadamente incorporadas aos polímeros, aumentam a resistência mecânica de forma significativa. As principais fibras de reforços aplicadas em compósitos são as fibras de vidro e as fibras de carbono. As fibras de vidro são constituídas por vidro do tipo "E" – um vidro

especial que contém óxidos de silício, alumínio, boro, cálcio e característica alcalina menor que 1%. Os tipos de fibras de vidro mais utilizados são: manta, roving, woven roving, tecidos e manta moldável (OWENS CORNING, 2004).

A manta é produzida a partir de fios cortados, unidos quimicamente e de forma aleatória. Possui boa resistência mecânica e é indicada para peças onde se deseja um melhor controle da espessura no processo de laminação manual. A gramatura da manta de fibra de vidro pode ser encontrada nos valores  $225 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $450 \text{ g.m}^{-2}$  e  $600 \text{ g.m}^{-2}$ , estas são formadas de fios de fibra de vidro picados e aglomerados com formulação específica. O roving é composto por fios contínuos de vidro e possuem diversas aplicações. As fibras do roving devem ser cortadas antes de serem impregnadas com as resinas termorrígidas. O roving tem custo mais baixo que as mantas e tecidos e, por isso, são muito usados nos processos de laminação com moldes abertos. O woven roving corresponde a um tecido fabricado com o próprio roving, originando dessa forma um tecido especial onde fornece boas características mecânicas aos compósitos. Sua gramatura está entre  $600$  e  $800 \text{ g.m}^{-2}$ . O tecido usado para a laminação manual é fabricado com fios de roving torcidos e trançados. Sua gramatura pode ser de  $200 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $300 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $600 \text{ g.m}^{-2}$  ou  $800 \text{ g.m}^{-2}$ , não devendo ser usados próximo ao gel-coat, pois, seu desempenho marca a superfície da peça. Os tecidos possuem seus fios trançados ordenadamente, o que lhe confere maior resistência mecânica ao compósito, comparando-se às mantas, as quais possuem seus fios desordenados. (HIDROPLAS, 1994).

A manta moldável (MM) é um produto designado para uso em várias técnicas de transferência de resina em moldes fechados: moldagem por transferência de resina (RTM), moldagem por transferência de resina a baixa pressão (RTM-Light), prensagem e laminação a vácuo. É composta de um núcleo de tecido sintético costurado entre duas camadas de fibra de vidro picada. O núcleo sintético proporciona um fluxo superior de resina, enquanto as fibras de vidro conferem excelentes propriedades mecânicas ao laminado (OWENS CORNING, 2004).

A referida empresa destaca as seguintes características desta manta:

- Compatibilidade com resinas poliéster, viniléster, epóxi e poliuretano;

- Utilização com resinas contendo carga mineral;
- Boa resistência ao arraste das fibras;
- Fácil escoamento da resina;
- Rápida molhagem;
- Boa conformabilidade no molde;
- Capacidade para produzir peças com espessuras diversas; e
- Excelente acabamento superficial.

A manta moldável, devido a sua habilidade de alta fluidez da resina e rapidez de molhagem em processos de moldagem por transferência de resina, permite produção de peças com excelente qualidade e reduzido tempo de processamento, aumentando a produtividade da linha. Para melhor especificar este produto, segue-se a nomenclatura conforme a Figura 1 (OWENS CORNING, 2004).

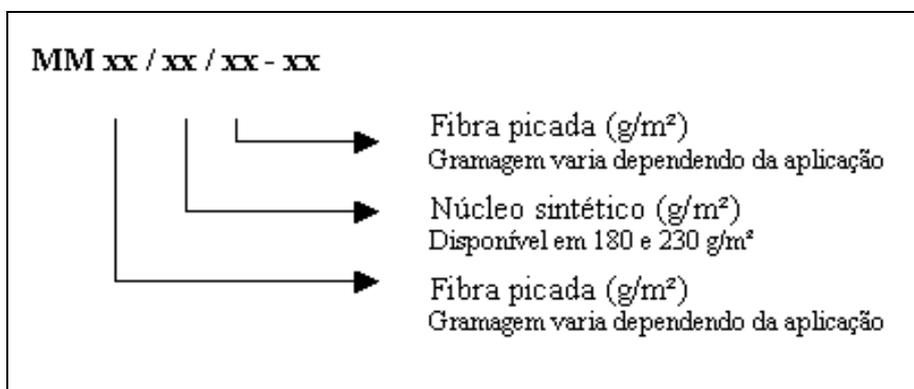


Figura 1. Nomenclatura para especificação da manta moldável

A Tabela 1, lista as configurações disponíveis da manta moldável e suas respectivas propriedades. A manta moldável é desenhada para ser usada como uma camada única de reforço, sendo que nenhuma operação de pré-formagem se faz necessária antes de colocá-la no molde. A espessura da peça final e a quantidade de vidro requerida são fatores decisivos na escolha do material adequado. A proporção de vidro e resina ditará a resistência mecânica da peça como um todo (OWENS CORNING, 2004).

Tabela 1. Configurações disponíveis da manta moldável

Nome do Produto	Peso Total (g.m <sup>-2</sup> )	Comprimento do Rolo (m)	Peso do Rolo (kg)
MM 200/180/200	580	75	65
MM 300/180/300	780	70	72
MM 350/230/350	930	60	74
MM 450/180/450	1080	60	80
MM 450/230/450	1130	55	80
MM 600/180/600	1380	50	84
MM 600/230/600	1430	45	84

Fonte: OWENS CORNING

A manta moldável pode geralmente ser manuseada com 35% de cargas em moldagem por compressão e 58% de cargas para moldagens por injeção. A espessura do laminado para cada tipo de manta é demonstrada conforme Tabela 2 .

Tabela 2. Espessura do laminado em função do tipo da manta

Configuração	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm	7 mm
MM 200/180/200	✓	✓	✓			
MM 300/180/300		✓	✓	✓		
MM 350/230/350		✓	✓	✓	✓	
MM 450/180/450		✓	✓	✓	✓	✓
MM 450/230/450			✓	✓	✓	✓
MM 600/180/600				✓	✓	✓
MM 600/230/600					✓	✓

Fonte: OWENS CORNING

#### 4.4.4 Aditivos em compósitos

Os aditivos, conforme já descritos no item 4.3.4, são materiais adicionados como componentes auxiliares. Sua inclusão nas formulações ou composições dos polímeros visa uma ou mais aplicações específicas como, por exemplo, redução do custo, modificação e ou melhoria de propriedades, facilitação do processamento e coloração.

Existem vários aditivos que podem ser adicionados à resina insaturada, dependendo das características que se quer dar ao produto final. Os agentes ultravioletas “UV” – acrilatos e hidroxibenzofenona, são compostos que têm a propriedade de absorver as radiações ultravioletas, dissipando sua energia de forma inócua. Inicialmente os raios “UV” atacam as insaturações presentes no polímero causando o amarelamento da resina e posteriormente continua rompendo as ligações originando perdas das propriedades mecânicas (ELEKEIROZ, 2004).

Os agentes tixotrópicos conferem às resinas insaturadas a propriedade de ser aplicado em superfícies verticais sem sofrer escorrimento. Geralmente são aditivos de origem natural, de grande área superficial e de baixa densidade aparente que aumentam a viscosidade da resina enquanto estiver estática e retorna à viscosidade normal após a agitação. Dentre estes agentes o manual destaca a sílica e os asbestos (HIDROPLAS,1994).

Os compostos halogenados e alumina tri-hidratada conferem ótimas características retardantes ao fogo, reduzindo a velocidade de propagação da chama, com baixo índice de fumaça e cessando a queima assim que retirada a fonte de calor (ELEKEIROZ, 2004).

Os pigmentos e os corantes possuem a função básica de conferir ao gel-coat ou à resina, a coloração necessária para obtenção de alta performance de cor e estética especificadas para o produto final. Os pigmentos são compostos de matérias inorgânicas e os corantes de matérias orgânicas. Os pigmentos são insolúveis na resina poliéster e não deixam passar luz, os corantes são solúveis em poliéster, ambos dividem-se em sintéticos e naturais. Como exemplos de corantes destacam-se o carbon black e antraquinona e como pigmentos, os óxidos de ferro, cromatos, oxido de antimônio e molibdatos (ELEKEIROZ, 2004).

#### 4.4.5 Cargas minerais em compósitos

Classificadas como aditivos, conforme descrito no item 4.3.4, as cargas minerais são utilizadas em resinas insaturadas para melhoria de certas características dos produtos tais como a resistência à abrasão, aumento do módulo de elasticidade, dissipação de calor, estabilidade dimensional e barateamento de custos (ELEKEIROZ, 2004). As cargas minerais são usadas principalmente para substituir parte da resina e das fibras de vidro e assim reduzir o custo do produto final. A aplicação de carga mineral no processo de transformação de compósitos de resina poliéster e fibra de vidro, é uma prática muito utilizada. Dentre as cargas mais empregadas, destacam-se o carbonato de cálcio (calcita), talco industrial (agalmatolito), alumina e as microesferas (HIDROPLAS, 1994).

Para se produzir massas de acabamento leves e fáceis de lixar, são usados espessantes conhecidos como microesferas. No preparo de massas com esse tipo de material, a quantidade de espessantes deve ser suficiente para dar a consistência necessária para o local de aplicação, seja em superfícies verticais ou horizontais. As microesferas ocas, possuem uma densidade muito baixa e produzem massas de excelente qualidade. As microesferas mais conhecidas são as ocas de vidro (*glass bubbles*), que são fornecidas com uma variada quantidade de tamanhos de partículas. Sendo significativamente mais baratas que as de resina fenólica, são preferidas por muitos construtores. São fabricadas a partir de vidro tipo C e têm tamanhos de partículas que variam de 40 a 80 micros e uma densidade de  $0,230 \text{ g.cm}^{-3}$ . Já as microesferas fenólicas são um tipo de carga pouco conhecida pelos construtores, embora muito utilizadas por profissionais que constroem barcos de regata, e que, como o próprio nome diz, são derivadas de resina fenólica. Elas têm uma cor marrom avermelhada, são extremamente leves e utilizadas preferencialmente com resina epóxi, pois alguns tipos de resina poliéster, com alto teor de monômero de estireno, podem provocar ataque químico e o colapso das partículas. É importante manter este produto em lugares secos pois estas microesferas absorvem umidade rapidamente. O tamanho das partículas estão na faixa de 50 micros e sua densidade média é de  $0,250 \text{ g.cm}^{-3}$  (ABMACO, 2004).

As esferas plásticas, também conhecidas como esferas termoplásticas são, sem dúvida alguma, os tipos mais exóticos de espessantes que se pode trabalhar, por serem mais fáceis de lixar e mais leves também. É possível fazer massas com um peso 20% menor que aquelas produzidas com esferas fenólicas ou de vidro, que por sua vez já são muitas vezes mais leves que aquelas produzidas com talcos e carbonato de cálcio. O tamanho médio das partículas é de 50 micrometro para uma densidade de  $0,075 \text{ g.cm}^{-3}$  (HIDROPLAS, 1994).

#### **4.4.6 Gel-coat**

Segundo a empresa Elekeiroz (2004), o gel-coat é toda camada de resina sem reforço que pode ser aditivada, pigmentada ou não, e que é aplicada à superfície de uma estrutura. Possui, em média, uma espessura entre 0,3 e 0,5 mm. Apresenta as seguintes finalidades básicas:

- a) Estética – substituir a pintura convencional dando às peças acabamento liso;
- b) Barreira química – proteger a superfície da peça contra a ação das intempéries do meio ambiente;
- c) Substrato – servir de base para aplicação de pintura.

#### **4.4.7 Desmoldantes**

Os desmoldantes são usados para impedir que a peça cole no molde. Existem três tipos de desmoldantes disponíveis no mercado. O primeiro é o álcool polivinílico, também conhecido como PVAL. O PVAL forma um filme ou barreira sobre a superfície do molde. O segundo desmoldante é formado por uma mistura de cera de carnaúba, cera de abelha, parafina e solvente. Esse desmoldante é conhecido na indústria simplesmente como "cera desmoldante" e é muito usado nos processos de laminação com molde aberto. O terceiro

tipo de desmoldante é conhecido como semipermanente e ainda não é muito popular no Brasil. O desmoldante semipermanente se adere à superfície do molde e não contamina as peças (HIDROPLAS, 1994).

#### **4.4.8 Solventes**

Os solventes servem para limpar roletes, pincéis e outros equipamentos e ferramentas usados na laminação, sendo que os mais comuns são acetona e thinners. Os processos de moldes abertos usam também facas, espátulas, pincéis, roletes, lixas e outros materiais e ferramentas (HIDROPLAS, 1994).

#### **4.5 Processos de fabricação para compósitos**

Os compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro podem ser fabricados por vários processos. A escolha do processo depende de vários fatores, dentre estes destacam-se a forma do produto e a quantidade diária a ser produzida. A Figura 2 apresenta os processos de fabricação levando-se em consideração a proporção da quantidade em peso de peças transformadas (ABMACO, 2004).

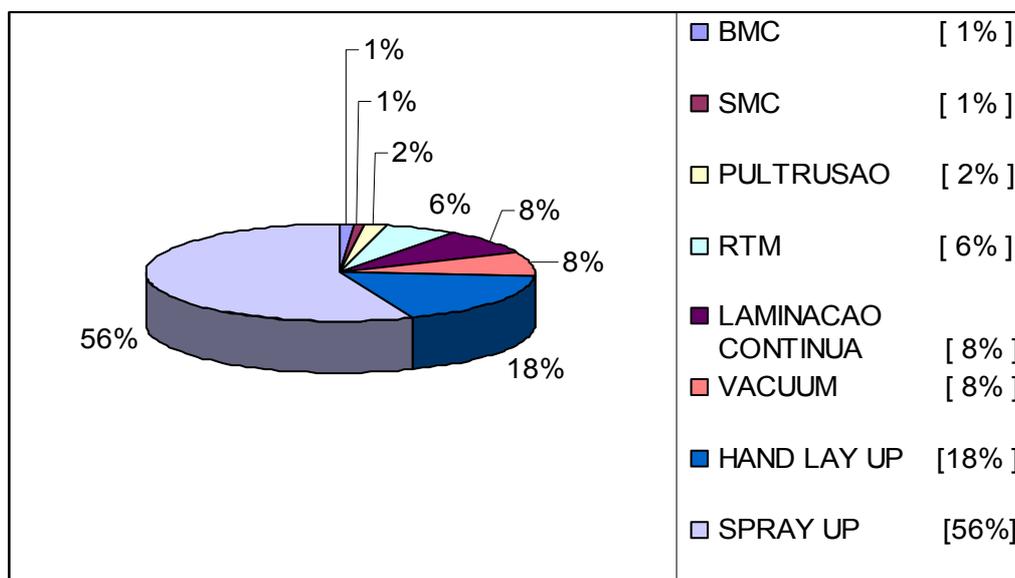


Figura 2. Processos predominantes na transformação.

Fonte: Adaptado da revista Plástico Moderno (2000)

Os processos de moldagem por projeção simultânea (*spray-up*), moldagem por contato manual (*hand lay-up*) e moldagem por transferência de resina (RTM), somam juntos 80% de toda a quantidade em peso das peças produzidas em compósitos a base de resina poliéster e fibras de vidro.

#### 4.5.1 Moldagem por contato manual (*Hand lay-up*)

O processo de moldagem por contato manual (HLU) pode ser utilizado para a produção de peças de vários tamanhos como, por exemplo, peças técnicas de pequena, média e elevada área de laminação, como em piscinas com áreas de laminação até 150 m<sup>2</sup>. Entretanto, este método é geralmente limitado à fabricação de peças com formatos relativamente simples e que requerem somente uma face com aparência lisa (a outra face é rugosa devido à moldagem). É indicado para volumes pequenos e médios de produção, e apresenta baixo investimento em equipamentos (OWENS CORNING, 2004). A moldagem por contato manual consiste em aplicar sucessivamente dentro do molde:

- um agente desmoldante;

- uma camada de gel;
- uma camada de reforço (vidro, aramida, carbono) na forma de manta, de fios picados ou de tecido roving;
- uma camada de resina líquida termofixa, com viscosidade entre 300 e 400 cP, e com média reatividade, e impregnar o reforço com as mãos com o auxílio de um rolete ou pincel.

Esta operação se repete tanto quanto for necessário, até se obter a espessura desejada da estrutura, conforme mostra a Figura 3.

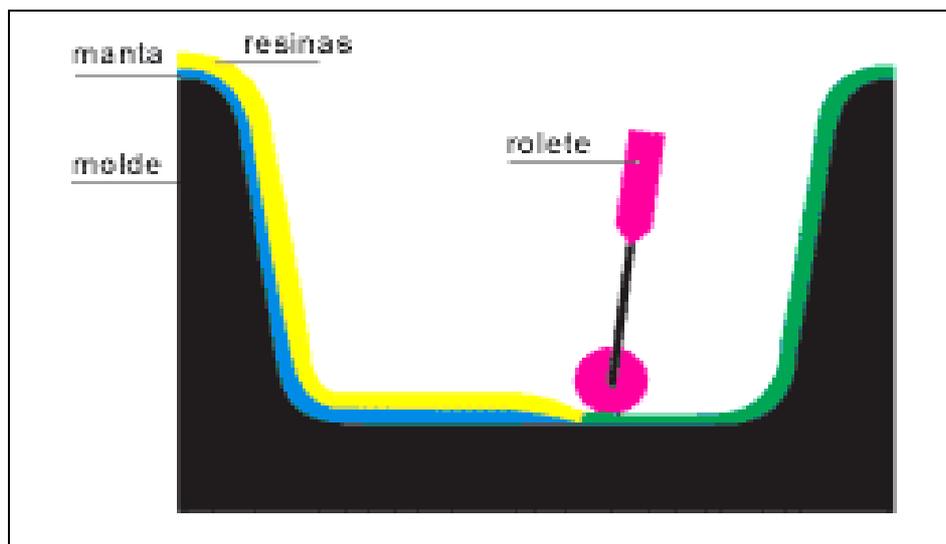


Figura 3. Esquema de moldagem por contato manual (HLU)

#### 4.5.2 Moldagem por projeção simultânea (*Spray-up*)

A moldagem por projeção simultânea é derivada da moldagem por contato manual e é particularmente conveniente para peças de tamanho médio e grande com formatos simples, apresentando apenas uma face regular. Como exemplo de peças que utilizam este processo, temos: cascos de lanchas e barcos a vela, piscinas, coberturas, tampas para tanques de grandes diâmetros e banheiras de acrílico reforçado. A produtividade é maior

comparável à moldagem por contato manual, principalmente para as peças com maior área de laminação (OWENS CORNING, 2004). A moldagem por projeção simultânea consiste em aplicar sucessivamente dentro do molde:

- um agente desmoldante;
- uma camada de gel.

A diferença em relação à moldagem manual começa na aplicação da resina. O processo consiste em projetar simultaneamente sobre o molde fios de vidro picados, normalmente com 30 mm de largura, e a resina necessária para sua impregnação. Após a projeção, é necessário fazer-se a laminação manual para compactar a mistura de vidro-resina no molde e, se possível, eliminar as bolhas de ar produzidas pelo sistema de projeção, conforme mostra a Figura 4. A máquina de projeção geralmente consiste em:

- um triturador de vidro movido por ar comprimido;
- uma bomba pneumática para alimentar resina na pistola de projeção;
- Um sistema com solvente para limpar a pistola.

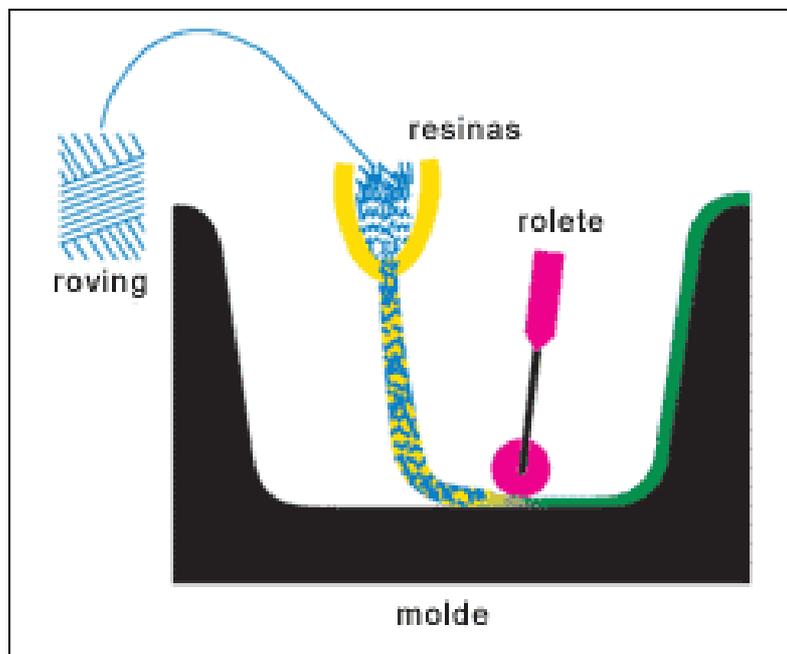


Figura 4. Esquema de moldagem por projeção simultânea (*Spray-up*)

### 4.5.3 Moldagem por injeção de resina (RTM)

O processo de injeção de resina (RTM - *Resin Transfer Moulding*) permite a moldagem de componentes com forma complexa e área de superfície grande com bom acabamento de superfície em ambos os lados. É adequado para a fabricação de peças de pequeno e médio porte, com largo emprego em peças com diferentes aplicações em transportes, como cabines de caminhão (OWENS CORNING, 2004). Este processo consiste em preencher a cavidade de um molde, rígido e fechado, injetando uma resina por um ou vários pontos, dependendo do tamanho do componente. Os reforços de fibras de vidro, em forma de mantas, são colocados no interior do molde previamente, antes de fechar e travá-lo firmemente, conforme mostra a Figura 5.

Normalmente resinas de poliéster, epóxi, fenólicos e acrílicos são usados e podem ser preenchidos, se preciso. Tipos diferentes de modelos podem ser usados dependendo da quantidade de produção esperada. O calor pode ser aplicado ao molde para encurtar o tempo de cura. Em tais casos o uso de moldes de aço pode ser necessário. Podem ser usados resinas de baixa retração com estes moldes para melhorar o acabamento de superfície e aparência. Alternativamente, pode-se utilizar o RTM de baixa pressão, pois permite baixar custos, tanto no investimento de molde e equipamentos, quanto na fabricação de peças (OWENS CORNING, 2004).

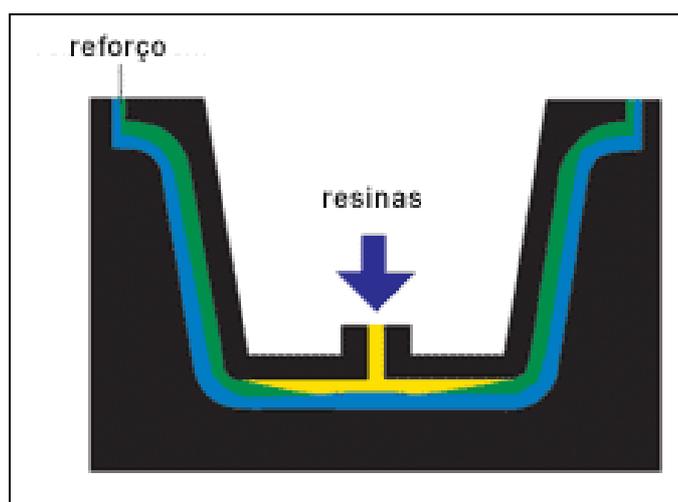


Figura 5. Esquema de moldagem por injeção de resina (RTM)

Amplamente utilizado em nível industrial, o RTM ou Moldagem por Injeção de Resina oferece muitas vantagens na fabricação de produtos poliméricos como, por exemplo, a redução de custos. Além disso, este processo não agride o meio ambiente, já que é executado hermeticamente, permitindo inclusive uma nítida melhoria das condições de higiene do trabalho (HIDROPLAS, 1994).

Segundo a mesma fonte, inicialmente o RTM era chamado de injeção de resina líquida, utilizando a pressão hidrostática assistida por vácuo ou a pressão transmitida por uma ou duas bombas volumétricas, para transmitir a resina para o molde. A utilização da técnica de injeção de resina líquida, para a obtenção de peças em plásticos reforçados e em grande série, é amplamente aplicada a nível industrial. Em todas as tecnologias onde somente a resina líquida está em movimento no molde, há reforços específicos, tais como as mantas com núcleo para escoamento da resina, mantas de fio contínuo e os tecidos de fibra de vidro.

Todos os tipos de resinas de baixa viscosidade podem ser utilizados e modificados para a obtenção de certas características particulares sobre os materiais obtidos como, por exemplo, melhor resistência ao fogo, características mecânicas elevadas ou melhorias da qualidade na superfície do produto (ELEKEIROZ, 2004).

O processo de injeção oferece vantagens na obtenção de peças com duas faces lisas, uma boa reprodutibilidade, respeitando as qualidades das matérias-primas dispostas em execução. Peças com dimensões e formas variadas podem ser obtidas simultaneamente com a mesma máquina de injeção. As condições de higiene do trabalho são nitidamente melhoradas, já que as resinas não estão em contato direto com o ambiente nem com os operadores. Estando em conformidade com os requisitos de higiene do trabalho, traz a solução do problema de emissão de estireno na atmosfera, já que todas as operações ocorrem em vaso fechado. (HIDROPLAS, 1994).

As características mecânicas do material estão diretamente ligadas ao tipo e à porcentagem do reforço utilizado. As taxas de vidro aplicadas neste processo estão compreendidas entre 12 e 50% em volume, que corresponde a 23 e 68% em peso, com uma resina de densidade  $1,2 \text{ kg.dm}^{-3}$  e por uma densidade do vidro de  $2,6 \text{ kg.dm}^{-3}$ . Essas

participações serão obtidas escolhendo o tipo de reforço adequado, seja manta , seja tecido , ou a combinação dos dois (OWENS CORNING, 2004).

#### **4.6 A importância da reciclagem**

A reciclagem, isto é, o retorno ao consumo de materiais que possuem ainda algum valor agregado, é o mais indicado e pode ser realizado de outras formas básicas: reciclagens primárias, secundárias, terciárias e quaternárias. A reciclagem primária é a recuperação de uma matéria prima dentro do próprio processo de produção, dentro ou fora da indústria geradora de refugo. Na reciclagem primária, o material apresenta um grau de pureza satisfatório permitindo sua reentrada total ou parcial no processo. A reciclagem secundária ocorre na recuperação de resíduo sólido urbano em que vários materiais estão misturados e necessitam de separação prévia total ou parcial, para readmissão ao ciclo de consumo. A reciclagem terciária refere-se à despolimerização e/ou decomposição e reutilização dos monômeros e oligômeros formados a partir do refugo plástico. A reciclagem quaternária consiste na recuperação de alta quantidade de energia química gasta na produção do material plástico, estocada sob a forma de ligações químicas. O material é incinerado e a energia liberada é utilizada na geração de algum bem, como calor, vapor e energia elétrica. Quando a energia não é utilizada a reciclagem quaternária se limita a reduzir o volume de resíduo sólido (FIESP, 2003).

Tecnologias e serviços importados participam com cerca de 30% no total do faturamento do setor de reciclagem de excedentes sólidos. Segundo informações do Cempre – Compromisso Empresarial para a Reciclagem, o mercado de reciclagem total, envolvendo os excedentes industriais e o excedente pós-uso, ou seja, aqueles que são descartados pelos usuários dos produtos comercializados, envolvem valores da ordem de R\$ 3 bilhões/ano.

O setor de reciclagem de excedentes sólidos é o segundo maior segmento do mercado ambiental brasileiro. Os especialistas estimam que este mercado representa cerca de 35% do mercado ambiental em seu conjunto. O faturamento registrado

nesse setor em 1998 foi da ordem de US\$ 1 bilhão. Seu crescimento vem se mantendo na ordem de 3 a 7% ao ano.

A principal fonte geradora de excedentes no Brasil são os domicílios privados. A responsabilidade constitucional pela coleta e disposição final é das administrações municipais. É importante esclarecer que existe uma grande diferença operacional, com reflexos ambientais imediatos, entre lixão e aterro sanitário. O lixão representa o que há de mais primitivo em termos de disposição final de resíduos. Todo o lixo coletado é transportado para um local afastado e descarregado diretamente no solo, sem tratamento algum. Assim, todos os efeitos negativos para a população e para o meio ambiente, se manifestarão. Infelizmente, é dessa forma que a maioria das cidades brasileiras ainda "trata" os seus resíduos sólidos domiciliares (FIESP, 2003).

O aterro sanitário é um tratamento baseado em técnicas sanitárias (impermeabilização do solo, compactação e cobertura diária das células de lixo, coleta e tratamento de gases, coleta e tratamento do chorume), entre outros procedimentos técnico-operacionais responsáveis em evitar os aspectos negativos da deposição final do lixo, ou seja, proliferação de ratos e moscas, exalação do mau cheiro, contaminação dos lençóis freáticos, surgimento de doenças e o transtorno do visual desolador por um local com toneladas de lixo amontado. Entretanto, apesar das vantagens, este método enfrenta limitações por causa do crescimento das cidades, associado ao aumento da quantidade de lixo produzido (FIESP, 2003). Segundo a referida fonte, o sistema de aterro sanitário precisa ser associado à coleta seletiva de lixo e à reciclagem, o que permitiria que sua vida útil fosse bastante prolongada, além do aspecto altamente positivo de se implantar uma educação ambiental com resultados promissores na comunidade, desenvolvendo coletivamente uma consciência ecológica, com envolvimento maior da população na defesa e preservação do meio ambiente.

As áreas destinadas para implantação de aterros têm vida útil limitada e novas áreas são cada vez mais difíceis de serem encontradas próximas aos centros urbanos, acarretando a elevação dos gastos com a sua operação em decorrência de seu distanciamento. Devido às desvantagens, a instalação de aterros sanitários deve ser planejada sempre associada à implantação da coleta seletiva de detritos e de uma indústria de reciclagem. Aperfeiçoam-se os critérios e requisitos analisados nas aprovações dos Estudos de Impacto Ambiental pelos

órgãos de controle do meio ambiente. Este procedimento vem cada vez mais ganhando força (CETESB, 2004).

Reciclar é uma maneira de lidar com o lixo de forma a reduzi-lo e reutilizá-lo. Este processo consiste em fazer coisas novas a partir de coisas usadas. A reciclagem reduz o volume do lixo, o que contribui para a diminuição da poluição e da contaminação, bem como na recuperação natural do meio ambiente, assim como auxilia a economia dos materiais e da energia usada para fabricação de outros produtos (FIESP, 2003).

Segundo a Fiesp (2003), três setas compõem o símbolo da reciclagem, cada uma representa um grupo de pessoas que são indispensáveis para garantir que a reciclagem ocorra. A primeira seta representa os produtores, as empresas que fazem o produto. Eles vendem o produto para o consumidor, que representa a segunda seta. Após o uso, o produto pode ser reciclado. A terceira seta representa as companhias de reciclagem que coletam os produtos recicláveis e através do mercado, vendem novamente o material usado para o produtor transformá-lo em novo produto. Na Figura 6 tem-se um exemplo de simbologia indicando que o politereftalato de etileno é um material reciclável. Normalizado pela NBR 13.230 (1994), o triângulo da reciclagem é fundamental na hora de separar os vários tipos de plásticos, para a viabilização econômica e industrial da reciclagem.



Figura 6. Símbolo de reciclagem do PET

Desde que o conceito de reciclagem surgiu, décadas atrás, a preservação do meio ambiente é seu principal mote. Entretanto, o progresso das técnicas viabilizou muitas atividades industriais, tornando a reciclagem também uma alternativa de investimento e geração de trabalho e renda de cunho social (FIESP, 2003).

Os resíduos sólidos podem ser de origem industrial, urbana ou especial. Os resíduos urbanos são constituídos por matéria orgânica, metais ferrosos e não ferrosos, papéis e papelão, vidros e plásticos, oriundos de coleta pública ou de origem domiciliar. Os resíduos industriais, são geralmente resultados da baixa especificidade nas indústrias que utilizam métodos ineficientes de redução de perdas de matéria prima, operariado mal treinado e, muitas vezes, a falta de preocupação, pois o custo de tal desperdício está agregado no produto final (FIESP, 2003).

O tema resíduo sólido industrial tem sido objeto de acalorados debates e decisões, tanto nacionais quanto internacionais, que apontam para uma mudança de postura ante aos princípios mais elementares de desenvolvimento sustentável, quais sejam: produção e consumo responsáveis. O entendimento do setor produtivo em relação à produção responsável vem mudando de forma significativa na última década. Para ilustrar este fato, impõe-se desde já a substituição do termo inadequado "resíduo", que se refere àqueles remanescentes efetivamente não aproveitáveis, inservíveis, que devem ter, como destino, os aterros ou centros tecnológicos de tratamento e/ou processamento especializados. Sugere-se, em seu lugar, a adoção de termos mais propícios, como excedentes ou subprodutos, para designar aqueles materiais derivados dos processos tecnológicos de transformação industrial, denominação mais compatível, legítima e adequada (FIESP, 2003).

De acordo com a NBR 10.004 (2004), os resíduos podem ser classificados, quanto ao risco potencial ao meio ambiente, como:

- Resíduos Classe I – Perigosos: aqueles que, em função de suas características de toxicidade, corrosividade, reatividade, inflamabilidade, patogenicidade ou explosividade, apresentem significativo risco à saúde pública ou ao meio ambiente.

- Resíduos Classe II – Não-Inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos ou de resíduos Classe III – Inertes. Podem apresentar propriedades como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos Classe III – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa segundo a NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos Sólidos – e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006 – Procedimento para Obtenção do Extrato Solubilizado em Resíduos Sólidos – não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água vigentes, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Conforme a NBR 10.004 (2004), os resíduos também podem ser classificados quanto à origem:

- Excedente sólido domiciliar: proveniente de residências, composto basicamente de sobras de alimentos, invólucros, papéis, papelões, plásticos, vidros, trapos e outras atividades que apresentem características similares.
- Excedente sólido público: proveniente da varrição, da capina e da poda de árvores e arbustos de vias e logradouros públicos em áreas urbanas.
- Excedente sólido industrial e de mineração: proveniente de atividades de pesquisa e produção de bens, bem como de atividades de mineração, gerado em áreas de utilidades e manutenção dos estabelecimentos industriais.
- Excedente sólido de serviço de saúde: proveniente de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial às

populações humana ou animal, centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde, bem como os medicamentos vencidos ou deteriorados, aqueles provenientes de necrotérios, funerárias e barreiras sanitárias.

Existem vários órgãos de fiscalização que têm alguma forma de atuação na área de excedentes industriais. Dentre estes são citados a Cetesb, a Polícia Civil, a Polícia Ambiental (antiga Polícia Florestal), a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e, para alguns ramos do setor produtivo, a Vigilância Sanitária e o Conselho Nacional de Energia Nuclear – CNEN (FIESP, 2003).

Considerando que há um universo estimado de cem mil instrumentos legais versando sobre o tema ambiental nos diversos níveis hierárquicos e que os órgãos de fiscalização se baseiam nesses instrumentos para efetuar o processo de fiscalização, gerir uma empresa ignorando esta realidade implica em um alto risco.

Acrescente-se a este fato a promulgação da Lei Federal nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – Lei de Crimes Ambientais, que responsabiliza o funcionário público quando deixar de promover as medidas necessárias à prevenção, interrupção ou minoração do agravamento do dano ambiental, determinado pela autoridade competente. A Cetesb está entre os órgãos ambientais mais atuantes do país em termos de eficiência. Somando-se todos os fatores, agravam-se os processos administrativos aplicados ao setor industrial.

Segundo North (1992, p.135) “a produção industrial envolve a extração de recursos naturais, a utilização deles na manufatura de produtos industriais, e a disposição de materiais indesejados que não são utilizados no produto final”. A destinação desses materiais indesejados, vem tornando-se cada vez mais problemática devido às exigências ambientais. Por esse motivo surge, nos dias de hoje, a necessidade de adoção de um novo tipo de desenvolvimento – o desenvolvimento sustentável.

Segundo Kinlaw (1997), o conceito de desenvolvimento sustentável entrou no vocabulário popular por meio do trabalho e das publicações da United Nations World Commission on Environment and Development (WCED). A WCED definiu o

desenvolvimento sustentável como “(...) desenvolvimento (...) que atende as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (WCED apud Kinlaw, 1997, p.82).

Esse conceito é baseado no crescimento econômico, na equidade social e no equilíbrio ecológico. Assim, “o desenvolvimento da tecnologia deverá ser orientado para metas de equilíbrio com a natureza e de incremento da capacidade de inovação dos países em desenvolvimento e o progresso será entendido como fruto de maior riqueza, de maior benefício social equitativo e equilíbrio ecológico” (DONAIRE, 1999, p.40).

De acordo com Lemos & Nascimento (1998), este novo conceito está sendo adotado aos poucos pelas empresas, devendo-se em grande parte a fatores externos, como a pressão por parte da sociedade, dos governos, das instituições financeiras internacionais, a pressão decorrente da acirrada concorrência, as pressões de organizações não-governamentais – ONGs, aos conceitos novos referentes a sistemas de qualidade total e ISO 9000, gestão ambiental, certificação ambiental - BS-7750 e Norma ISO 14000 – e produtos que sejam detentores de “selos verdes”, ou seja, produtos que desde suas origens possuam elevado padrão de comprometimento com o ambiente, dentre outros.

Da mesma forma, para Donaire (1999, p.50), “a globalização dos negócios, a internacionalização dos padrões de qualidade ambiental descritos na série ISO 14000, a conscientização crescente dos atuais consumidores e a disseminação da educação ambiental nas escolas permitem antever que a exigência futura que farão os futuros consumidores em relação à preservação do meio ambiente e à qualidade de vida deverão intensificar-se”. Essa mudança de cenário que vem ocorrendo, intensificando a importância das questões ambientais, vem criando a necessidade de mudança nas empresas para se adaptarem à nova realidade, procurando oportunidades para competir e serem bem sucedidas.

A reciclagem é uma alternativa de destino dos resíduos sólidos de menor impacto ambiental quando comparada à disposição em lixões, ou mesmo em aterros sanitários e, além disso, é um negócio, capaz de gerar benefícios econômicos. Porém, para ser bem sucedida, tanto tecnicamente quanto economicamente, precisa de investimentos e inovação. Donaire (1999) aponta como oportunidades, entre outras, a reciclagem de materiais,

trazendo grande economia de recursos para as empresas, como também, o reaproveitamento de resíduos internamente ou sua venda para outras empresas por meio de Bolsas de Resíduos, o desenvolvimento de novos processos produtivos com a utilização da produção mais limpa, que trazem vantagens competitivas e possibilitam a venda de patentes e o desenvolvimento de novos produtos para um mercado cada vez maior de consumidores conscientizados com a questão ecológica.

Os resíduos de compósitos de resina poliéster e fibras de vidro oriundos das empresas transformadoras são descartados com o lixo e levam décadas para se degradarem, poluindo, desta forma, o meio ambiente. Portanto, a reutilização destes resíduos é de extrema importância, visto que a poluição ambiental atinge toda a população. Além disso, o seu reaproveitamento na produção de compósitos de poliéster com fibra de vidro pode conduzir ao desenvolvimento de uma tecnologia que já vem sendo aplicada em diversos compósitos e que constitui uma metodologia simples, barata e de fácil confecção (REVISTA DO PLÁSTICO REFORÇADO, 2002).

No boletim informativo do Instituto Tecnológico Espanhol – AIMPLAS, edição de março de 2004, consta um dos projetos europeus para o desenvolvimento competitivo e sustentável nesse segmento. O referido projeto envolveu cinco países membros da união européia (Espanha, França, Bélgica, Irlanda e Grécia) tendo por objetivo desenvolver um Pallet utilizando-se material reciclado de plástico reforçado com fibra de vidro, obtendo um produto de alta resistência (AIMPLAS, 2004). De acordo com a Aimplas (2004), para o desenvolvimento tecnológico do projeto, quatro empresas foram os centros das investigações: AIMPLAS – Instituto Tecnológico do Plástico – Espanha; Conservatório Nacional das Artes e Materiais – França; AIDIMA – Instituto Tecnológico Del Mueble – Espanha; Universidade Nacional da Irlanda – Irlanda. Estas empresas representam a cadeia de uso do novo produto: empresas que geram os resíduos, fabricantes de moldes de injeção, fabricantes de moinhos e fabricantes de pallets. O produto obtido tem maior utilização que os similares fabricados atualmente. Os resultados demonstram que graças ao uso de uma carga reforçante formada, principalmente, por fibra de vidro cortada e misturada com uma matriz polimérica (reciclados de plásticos reforçados com fibra de vidro), junto a diferentes aditivos que permitem a compatibilização de ambos os componentes, o ajuste reológico para

seu processamento correto e a proteção do mesmo frente às condições de processamento e uso, o produto tem tido êxito.

Ainda segundo a Aimplas (2004), o material usado como reforço tem sua procedência nos resíduos produzidos na fabricação de peças de poliéster reforçado com fibra de vidro, proveniente das indústrias automobilísticas, aeronáuticas, construções civis, caldeirarias, entre outras. As etapas do projeto que possibilitou alcançar os objetivos citados são:

- determinação da variação dos resíduos de poliéster com fibra de vidro;
- projeto para otimização de um moinho para materiais altamente abrasivos;
- projeto de um novo material para a fabricação de pallets;
- reelaboração de um novo projeto de molde para ajuste às propriedades do novo material;
- processo de produção industrial;
- Reciclabilidade do novo produto;
- análises de ciclo de vida.

As principais conclusões alcançadas pelo projeto são:

- a fabricação de pallets com o material desenvolvido é viável e interessante industrialmente;
- as propriedades do novo pallet, fabricado a partir de resíduos de compósitos termofixos, são superiores em rigidez aos pallets convencionais, fabricados com materiais termoplásticos reciclados;
- o projeto permitirá reduzir a quantidade de resíduos de poliéster com fibra de vidro que se destinam atualmente a aterros.

De fato, segundo Fiesp (2003), as sobras dos processos de produção devem ser consideradas como matérias-primas excedentes. Portanto, sua não inserção em processos que resultem em produtos alternativos, aos quais se destinavam originalmente, caracteriza-se como "desperdício". Desconsiderar esse "ativo" é contrariar a própria racionalidade de um empreendimento industrial: sua competitividade e sua respectiva lucratividade, além dos aspectos primordiais, como a escassez de recursos naturais disponíveis e a responsabilidade social, que se impõe como princípio básico para a sociedade sustentável almejada.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

Neste capítulo é abordada a seqüência metodológica dos ensaios realizados com resíduos de compósitos termorrígidos a base de resina poliéster e fibra de vidro.

### **5.1 Rebarbas geradas na região de Botucatu**

O município de Botucatu está localizado na região centro-sul do estado de São Paulo. Com área de 1.496 km<sup>2</sup> e altitude de 700 a 940 metros no topo da "Cuesta de Botucatu" - uma forma de relevo existente dentro de um planalto (Planalto Ocidental). A frente ("front") apresenta uma acentuada declividade, em forma de escarpa, onde se localiza o "Aqüífero Botucatu".

Segundo Barros e Tornero (1992), Botucatu possui 26% (395,6 km<sup>2</sup>) de sua área territorial inserida dentro dos limites da APA (Área de Proteção Ambiental) de Corumbataí, criada pelo Decreto Estadual de nº 20.960/83. A Área de Proteção Ambiental de

Corumbataí - Perímetro Botucatu, compreende os seguintes municípios: Angatuba, Avaré, Bofete, Botucatu, Guareí, Itatinga, Pardinho, Porangaba, e São Manuel.

A região de Botucatu destaca-se no cenário industrial por ser um grande pólo de transformação de resinas em peças termorrígidas. Em 2004, foi efetuado um levantamento, junto às empresas deste segmento, quanto ao tipo e quantidade de rebarbas geradas, bem como o destino dado a elas. Conforme mostra a Tabela 3, é possível perceber o volume de resíduos de materiais compósitos que são direcionados a aterros.

Algumas empresas prestaram informações sobre as rebarbas geradas, entretanto pediram para não serem citadas. Em contrapartida, a empresa Induscar-Caio, maior transformadora da região e, conseqüentemente, a maior geradora de rebarbas, prontificou-se a fornecer as referidas rebarbas para o presente estudo, além de prestar apoio tecnológico, abrindo assim, as portas da área industrial e dos laboratórios, recomendando também parceiros fornecedores de matérias-primas para possíveis colaborações de aproveitamento das rebarbas decorrentes dos processos de transformação das resinas termofixas reforçadas com fibra de vidro.

Tabela 3. Geração de rebarbas de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro

EMPRESA	CIDADE	SEGMENTO DO PRODUTO GERADO	PROCESSO UTILIZADO	QUANT. REBARBA (ton/mês)	DESTINO REBARBA
Induscar-Caio	Botucatu	Transporte	HLU, SPRAY-UP, RTM	16	Aterro Remolixo – Sorocaba
Fiber Centro	Botucatu	Automotivo Transporte	HLU, SPRAY-UP	5	Aterro Remolixo – Sorocaba
Polifiber	São Manuel	Automotivo Agrícola	HLU, SPRAY-UP, RTM	5	Aterro Remolixo – Sorocaba
BMM – Bruno Moldes e Modelos	São Manuel	Automotivo Agrícola	HLU, SPRAY-UP, RTM	1	Retirado pela prefeitura São Manuel
GDC – Fibras	Pratânea	Automotivo	HLU, SPRAY-UP	1	Retirado pela prefeitura de Pratânea
Outros	Botucatu	Automotivo Reservatórios de água e piscinas	HLU, SPRAY-UP	3	Aterros clandestinos

## 5.2 Classificação das rebarbas e estudos preliminares

As rebarbas são características dos processos de transformações: *Hand lay-up* (moldagem manual); *Spray-up* (moldagem por projeção simultânea) e *Resin transfer moulding* – RTM (moldagem por injeção de resina). Para cada produto poderá ser estudada a melhor forma de redução das rebarbas, porém dificilmente estas serão totalmente eliminadas nestes processos de transformações, pois são elas que garantem a uniformidade das características físico-mecânicas em toda a superfície do produto, principalmente nas bordas.

Analisando as rebarbas pode-se classificá-las em quatro tipos:

a) Rebarbas provenientes do processo de laminação manual (*Hand lay-up*). Este tipo de rebarba normalmente apresenta-se em tiras e contém maior concentração de vidro, proveniente do reforço da manta ou tecido de vidro.

b) Rebarbas provenientes do processo de laminação por projeção simultânea (*spray-up*). Como este processo utiliza fios contínuos de vidro (*roving*), estes são picotados e projetados através de uma máquina contra a superfície do molde, embebidos de resinas. Dessa forma, esse tipo de rebarba apresenta-se como um emaranhado de fios de vidro com uma maior concentração de resina.

c) Rebarbas provenientes do processo de fabricação por injeção de resina (RTM). Este processo permite um maior controle das sobras de tecidos ou mantas de vidro em todo o contorno do produto. Assim sendo, estas rebarbas apresentam maior concentração de resina e, vale lembrar, que esta resina apresenta elevada concentração de carga mineral – 30 a 50% do total da mistura.

d) Este tipo de rebarba é formado pelo conjunto de pedaços de peças, produzidos por qualquer um dos processos anteriores, estes pedaços são originados de recortes, furos, rasgos e outros retrabalhos na peça original. Normalmente a concentração de resina está em torno de 70 % e a de vidro em 30 %.

O excedente sólido utilizado neste estudo é um polímero classificado como termorrígido, e como já são conhecidas as características de um termorrígido, propõe-se

a utilização destes excedentes na condição de carga para ser reintegrado ao processo produtivo.

Pelos resultados obtidos no levantamento do volume médio de rebarbas provenientes dos processos de transformação de compósitos a base de resina poliéster e fibras de vidro, que são jogadas diariamente, conforme Tabela 3, observa-se que algo precisa ser feito para evitar tal situação de desperdício e principalmente de poluição ambiental.

Inicialmente, de posse de algumas rebarbas, começou-se analisar de que forma se poderia reverter a sua polimerização. Chegaram a ser feito em laboratório algum ataque químico em soluções ácidas, aos quais as resinas poliésteres, mediante informações dos fabricantes, não são resistentes. Depois de alguns dias submersos nestas referidas soluções, percebeu-se um pequeno ataque superficial, com uma deterioração muito lenta e longe dos nossos objetivos, motivo pelo qual foi abandonada esta linha de estudos.

Em seguida, partiu-se para ensaios com a utilização das rebarbas nas dimensões e formas como elas são originadas, para evitar a operação de trituração, com o objetivo de estruturar interiores de peças maciças e volumosas de espuma de poliuretano rígido. O resultado foi insatisfatório, pois a heterogeneidade das rebarbas quanto às formas não permitiram o controle da resistência mecânica ao longo do produto. Chegou-se a triturar as rebarbas com dimensões máximas de 20 mm para garantir uma mistura com menor grau de heterogeneidade, entretanto, não se obteve um bom resultado, pois as rebarbas atuaram como material de enchimento, aumentando o peso do produto final, contrariando o objetivo das maiorias das peças em espuma de poliuretano rígido, que é o isolamento térmico e acústico e baixo peso. Diante de um horizonte não promissor para este tipo de utilização, também se interrompeu esta linha de estudos.

Percebeu-se que, para garantir uma homogeneidade das rebarbas, seria necessário transformá-las em pedaços menores, surgindo assim um direcionamento dos estudos para a transformação mecânica das rebarbas de compósitos de resina poliéster com fibra de vidro em partículas muito pequenas, a ponto de transformá-las em pó.

Diante desta nova situação, construiu-se um equipamento simplificado para triturar as rebarbas deste compósito, de modo que com uma única operação fosse possível

transformar as rebarbas em pó. Trata-se de uma adaptação de um esmeril de 3 HP de potência e 3200 rpm, onde criou-se uma carenagem metálica em forma de caracol em um dos lados do eixo, envolvendo cinco escovas cilíndricas de aço com diâmetro de 6 polegadas. Adaptado à carenagem colocou-se um aspirador de pó doméstico, com a função de retirar e armazenar todo o material triturado pelas escovas no interior do caracol. A alimentação é feita por uma abertura no caracol. Dessa forma foi possível a produção de pó a partir das rebarbas de compósitos a base de resina poliéster com fibra de vidro, sem poluir o ambiente de trabalho.

Para separar as partículas menores, foi confeccionada uma peneira hermética com malha Mesh 200, equivalente a uma abertura de 0,074 milímetros. Esta peneira consiste em uma caixa de madeira com 300 x 300 x 100 milímetros e uma tampa para evitar a dispersão das partículas pelo ar no ambiente de trabalho.

A escolha das dimensões das partículas trituradas com esta gramatura, decorre do direcionamento dos estudos para a transformação das rebarbas de compósitos em um pó tão fino quanto as cargas minerais empregadas nos processos de laminação por contato manual (HLU), projeção simultânea (*Spray Up*) e moldagem por injeção de resina (RTM).

O presente estudo utiliza-se de uma mistura contendo os quatro tipos possíveis de rebarbas. Esta mistura foi coletada aleatoriamente, triturada e moída, dando origem a um pó contendo resina mais vidro, doravante denominado pó de rebarba de compósito a base de resina poliéster e fibra de vidro. Para poder-se estudar as influências causadas pela substituição da carga mineral (calcita –  $\text{CaCO}_3$ ) pelo pó de rebarbas de compósitos na resina preparada para o processo RTM, optou-se pela fabricação de placas com porcentagens variadas de carga, ora pó de compósito, ora calcita para, posteriormente, retirar corpos-de-prova, efetuar testes físico-mecânicos e confrontar os resultados.

### **5.3 Confeção de corpos-de-prova**

O primeiro passo foi construir um molde para a fabricação de placas de ensaios, das quais foram retirados corpos-de-prova para os ensaios de tração, impacto, flexão e dureza. Para a fabricação das placas, utilizou-se resina poliéster UC-5518 produzida pela

empresa Elekeiroz, manta moldável de fibra de vidro MM 300/180/300 específica para o processo RTM e produzida pela Owens Corning. Para cada tipo de carga (pó de rebarba e calcita) foram preparadas várias composições de mistura com porcentagens variadas entre a resina e a carga, conforme é demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4. Características das placas de ensaios

Placas	Tipo de carga	% em peso de carga na mistura	% em peso de resina na mistura	Granulometria da carga (mesh)
1	Nenhuma	0,0	100,0	-
2	Pó de Rebarbas	10,0	90,0	200
3	Pó de Rebarbas	15,0	85,0	200
4	Pó de Rebarbas	20,0	80,0	200
5	Pó de Rebarbas	25,0	75,0	200
6	Pó de Rebarbas	30,0	70,0	200
7	Pó de Rebarbas	35,0	65,0	200
8	Pó de Calcita	10,0	90,0	325
9	Pó de Calcita	15,0	85,0	325
10	Pó de Calcita	20,0	80,0	325
11	Pó de Calcita	25,0	75,0	325
12	Pó de Calcita	30,0	70,0	325
13	Pó de Calcita	35,0	65,0	325
14	Pó de Calcita	40,0	60,0	325
15	Pó de Calcita	45,0	55,0	325
16	Pó de Calcita	50,0	50,0	325

Cada composição foi pré-misturada e estabilizada em um misturador rotativo pneumático. Depois foram, uma a uma, catalisadas com peróxido de acetilacetona (AAP) e prensadas em um molde com dimensões 300 x 300 x 3,0 milímetros. Em cada corpo de prova foi utilizada uma manta de tecido de fibra conforme já especificado, com o objetivo

de simular uma situação real de uso e, ao mesmo tempo, criar uma condição estrutural no corpo de prova para que o mesmo possa ser ensaiado conforme critérios estabelecidos nas normas ASTM para cada tipo de ensaio, conforme descrito nos Anexos 1 e 2.

#### 5.4 Realização de ensaios

A confecção das placas, das quais foram retirados os corpos-de-prova, foram efetuadas no laboratório da empresa Induscar-Caio. Os corpos-de-prova foram recortados, preparados e ensaiados pela empresa Elekeiroz, localizada na cidade de Várzea Paulista – S.P.. Esta empresa é fabricante da resina poliéster UC-5518 utilizada nos ensaios. Durante a confecção das placas, foi registrado para cada tipo de mistura um teste para a verificação da contração linear da mesma após sua cura, isto é, após sua polimerização. Com isso pôde-se analisar o comportamento e a estabilidade dimensional de cada tipo de mistura.

O ensaio de estabilidade dimensional consiste em despejar um volume aproximado de  $60 \text{ cm}^3$  da mistura em um recipiente em forma de prisma triangular equilátero, com comprimento de 200 mm e com uma de suas arestas formando o fundo do recipiente. Este instrumento foi utilizado em um plano na posição horizontal para equilibrar a distribuição do volume da mistura despejada, conforme é ilustrado na Figura 7.



Figura 7. Recipiente em forma de prisma com base triangular

Após a polimerização da mistura, efetuou-se o dimensional do corpo-de-prova no sentido longitudinal deste prisma, conforme Figura 8, e registrou-se o valor da contração na Tabela 5. Este tipo de teste foi utilizado apenas para efetuar comparações de contrações lineares entre misturas diferentes. Vale lembrar que neste tipo de ensaio não se tem a influência das fibras de vidro.

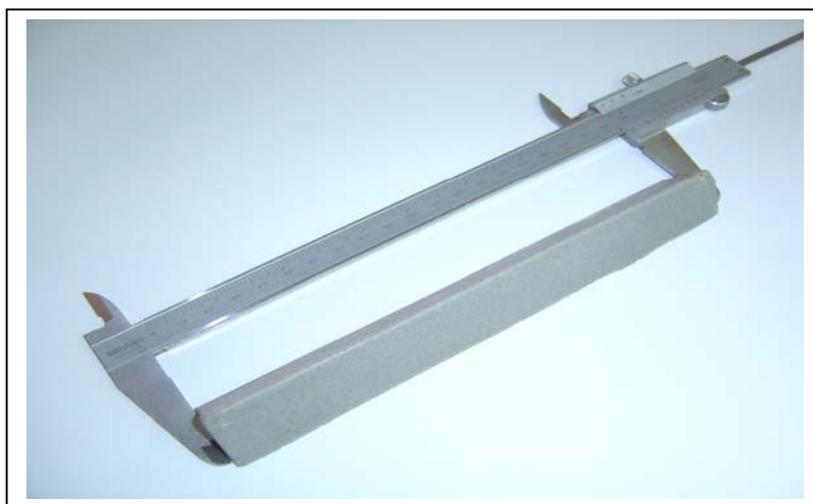


Figura 8. Dimensional do corpo-de-prova com paquímetro

Os ensaios de tração, flexão, impacto e dureza, foram realizados também com a resina sem carga, para permitir uma caracterização do material.

Os ensaios de resistência à tração foram realizados pela Elekeiroz em máquina de ensaios EMIC modelo DL-3000, com velocidade de tracionamento de  $5,0 \text{ mm.min}^{-1}$ , conforme corpo de prova retirado das placas nas dimensões estabelecidas em normas. O ensaio de tração seguiu a ASTM D638.

Os ensaios de resistência à flexão também foram realizados pela empresa Elekeiroz, em máquina de ensaio EMIC, usando velocidade de  $2,0 \text{ mm.min}^{-1}$ , seguindo as especificações da ASTM D790.

Os ensaios de resistência ao impacto Izod foram realizados pela referida – Elekeiroz, em pêndulo 2,7 J (Joule), altura de queda  $610 \pm 2,0 \text{ mm}$ , ângulo de

queda 60° com a horizontal e velocidade de impacto 3,45 m.s<sup>-1</sup>. Os corpos-de-prova foram entalhados em entalhadeira EMIC, obedecendo à norma ASTM D256.

Nos ensaios de dureza Barcol realizados pela empresa Elekeiroz, foram empregados um durômetro COLMAN, modelo GYZJ 934-1. Os ensaios seguiram a norma ASTM D2583.

Para cada porcentagem da mistura, ou seja, para cada placa, foram confeccionados cinco corpos-de-prova para cada tipo de ensaio, para permitir caracterizar as misturas através da variância dos resultados obtidos. O posicionamento dos corpos-de-prova confeccionados a partir de cada placa é ilustrado na Figura 9 e o resultado encontra-se registrado no Anexo 1 - Relatório de testes Elekeiroz – 018/04-A e no Anexo 2 - Relatório de testes Elekeiroz – 018/04-B.

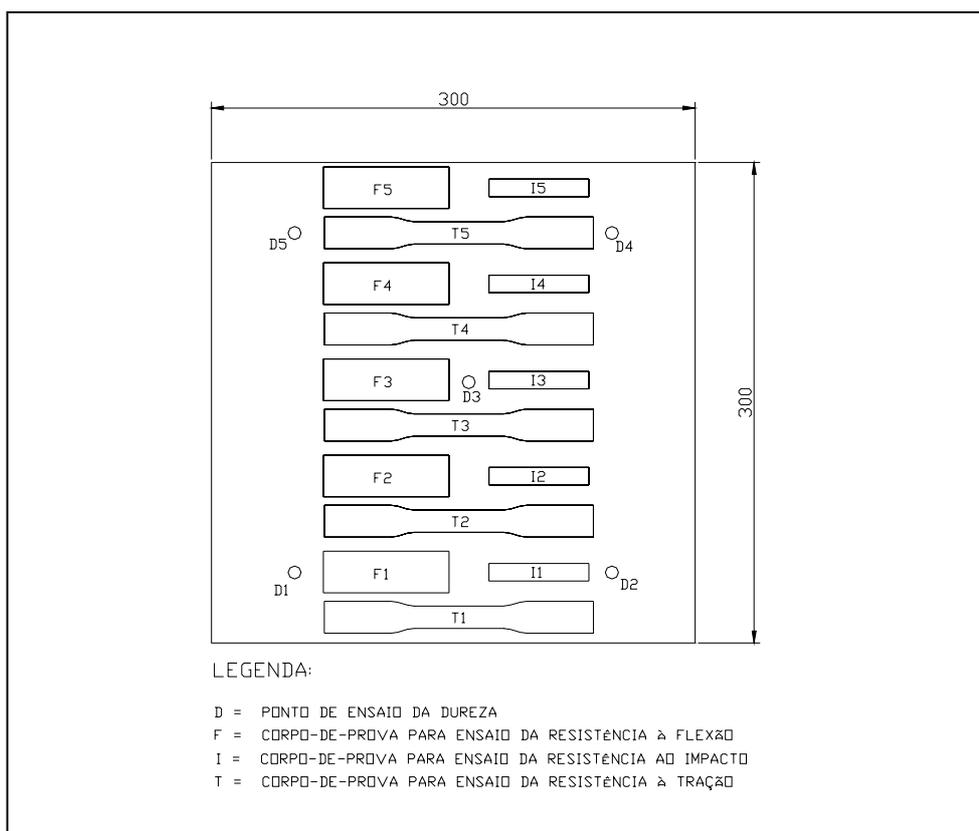


Figura 9. Esquema de retirada dos corpos-de-prova nas placas

A determinação da viscosidade Brookfield da mistura para cada corpo-de-prova foi obtida no próprio laboratório da Induscar-Caio, a uma temperatura de 23° C, utilizando-se um viscosímetro rotacional modelo LVT, a uma velocidade de 30 rpm, com Spindle n.º 3, obedecendo a norma ASTM D2196 cujos valores encontram-se dispostos na Tabela 5.

Com a utilização de um picnômetro foi possível determinar as densidades das cargas e resinas utilizadas nos testes. Este instrumento consiste em um recipiente cilíndrico metálico com volume interno de 100 cm<sup>3</sup> e uma tampa ligeiramente cônica com um orifício no vértice, para eliminar o excesso de material e garantir o volume ocupado pelo produto a ser mensurado. Este ensaio foi realizado conforme procedimento interno Induscar-Caio e os valores obtidos estão registrados na Tabela 6.

A fim de estudar a influência do tipo de rebarba na viscosidade da mistura preparada com pó de rebarbas, produziu-se pó de rebarbas de compósitos para cada tipo de processo de fabricação: moldagem manual “HLU”, projeção simultânea “Spray-up”, moldagem por injeção de resina “RTM”, recortes de peças fabricadas em “HLU” e “Spray-up” e uma composição aleatória entre os quatro tipos de resíduos. Para cada tipo de pó efetuou-se um levantamento das densidades, bem como, a viscosidade em uma mistura de 250 gramas de mistura, contendo 80% em peso de resina UC-5518 e 20% em peso de pó de rebarba. A uma temperatura ambiente de 23°C e com o auxílio de um viscosímetro rotacional modelo LVT, a uma velocidade de 30 rpm, com Spindle n.º 3, obedecendo à norma ASTM D2196, foram efetuadas leituras da viscosidade, os valores obtidos estão demonstrados na Tabela 7.

Um outro ensaio também efetuado foi o acompanhamento da viscosidade de uma mistura contendo resina poliéster UC-5518, pó de rebarba de compósito de resina poliéster e fibra de vidro sem a adição do agente catalisador. Pelo fato dessas partículas terem tido um contato com o catalisador, quando da primeira vez em que foram processadas, fez com que aumentasse a velocidade de catalisação, se comparada a uma resina com ou sem cargas minerais tradicionais.

Para a realização deste ensaio, preparou-se uma quantidade de 250 gramas de mistura contendo 80% em peso de resina e 20% em peso de pó de rebarbas de

compósito a uma temperatura constante de 23°C e deixou-se em um recipiente sem a inclusão do agente catalisador, de forma a não promover a polimerização.

Utilizando-se um viscosímetro rotacional modelo LVT, a uma velocidade de 30 rpm, com Spindle n.º 3, obedecendo-se à norma ASTM D2196, foram efetuadas leituras da viscosidade, os valores obtidos estão demonstrados na Tabela 8.

Os resíduos de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro para a realização desta pesquisa, foram obtidos através de doação da empresa Induscar-Caio.

A metodologia foi desenvolvida em duas etapas. Inicialmente foi desenvolvido um dispositivo específico para a produção do pó das rebarbas de compósitos de resina poliéster e fibra de vidro, com o objetivo de se obter a matéria prima de estudo. Ainda nesta etapa, foram consultados os fabricantes de moinhos com a finalidade de tornar economicamente viável a produção do pó em escala industrial.

Num segundo momento, foram confeccionadas amostras de compósitos contendo concentrações variáveis dos resíduos de compósitos de resina poliéster e fibra de vidro efetuando-se ensaios de tração, flexão, impacto e dureza; no laboratório da empresa Elekeiroz, localizada na cidade de Várzea Paulista – S.P.. A referida empresa é fabricante da resina poliéster (UC-5518) utilizada nas confecções dos corpos-de-prova.

Através de parceria com a Induscar-Caio, empresa fabricante de ônibus, que utiliza produtos compósitos à base de resina poliéster e fibra de vidro, foi possível confeccionar placas de ensaios e analisar a viabilidade de aplicação e utilização das mesmas quanto ao aspecto operacional e produtivo.

A maior parte das cargas utilizadas nos processos ditos por via úmida, podem também ser empregados em combinação com as resinas de RTM. A proporção destas cargas junto à resina fica condicionada a viscosidade da mistura, que não deve ser superior a viscosidade operacional da máquina de injeção.

O carbonato de cálcio é a carga mais empregada, sobretudo por razões econômicas. Todavia, nas aplicações onde o aspecto de superfície da peça moldada é um elemento importante, utiliza-se esta carga em proporções compreendidas entre 30 e 50% em peso. O aumento da rigidez, a diminuição das fissuras nas zonas ricas em resina, o controle da

retração e das dimensões, a melhora do comportamento ao fogo e do isolamento elétrico são as razões para a utilização das cargas.

Poderá haver alguns inconvenientes com o processamento provocado pelo tamanho ou pela forma das partículas, perturbando a transferência da mistura de impregnação por meio do reforço, ou então, dificuldade em manter a mistura homogênea com cargas de baixa ou de alta densidade como as microesferas, as aluminas hidratadas ou as cargas metálicas. Nestes casos, o processo com agitação permanente seria a solução para assegurar a homogeneidade da mistura no sistema de injeção. Em todos os casos de utilização de cargas, a densidade do compósito reforçado com fibra de vidro foi modificada pela proporção da mistura entre a resina e carga empregada na injeção.

Por outro lado, se a utilização de cargas oferece características particulares no compósito reforçado com fibra de vidro, nota-se que as propriedades mecânicas alteram-se na medida em que também se altera a proporção da mistura entre resina e carga. Quando o material é fortemente solicitado, particularmente em relação à fadiga, o emprego de cargas não é recomendado.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Neste capítulo são abordados e discutidos os resultados obtidos pelos testes realizados com resíduos de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro.

### **6.1 Resultados preliminares**

Na primeira fase, o foco esteve voltado na avaliação do comportamento operacional e seus resultados finais, para os produtos construídos com o pó de rebarbas de compósitos em substituição à carga mineral calcita, cujos valores encontram-se dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Resultado dos ensaios físico-mecânicos

Placas	Mistura em peso % Carga (PR ou Ca) + % Resina (R)	Dureza Barcol [UB] (*)	Resist. à Flexão [kgf.cm <sup>-2</sup> ] (*)	Resist. Impacto [J.m <sup>-1</sup> ] (*)	Resist. à Tração [kgf.cm <sup>-2</sup> ] (*)	Viscos. Mistura [cP]	Contração Mistura [mm]
1	0% Carga + 100%R	40,3 abc	1160,9 cd	421,3 a	441,7 abcd	100	5,0
2	10 % PR + 90 % R	24,5 d	1131,0 cd	238,5 d	346,8 bcd	200	5,0
3	15 % PR + 85 % R	28,0 cd	1177,9 cd	361,2 abcd	325,3 cd	300	4,4
4	20 % PR + 80 % R	26,6 cd	1266,7 bcd	282,7 bcd	381,9 abcd	480	4,0
5	25 % PR + 75 % R	27,8 cd	1059,6 d	274,9 bcd	266,7 d	960	3,8
6	30 % PR + 70 % R	26,3 cd	1289,3 bcd	269,3 cd	280,4 d	2700	2,8
7	35 % PR + 65 % R	32,8 bcd	1197,9 bcd	244,0 d	307,3 cd	FE	2,0
8	10 % Ca + 90 % R	43,8 ab	1682,3 a	396,1 abc	528,2 a	110	5,0
9	15 % Ca + 85 % R	41,6 abc	1551,3 ab	293,1 abcd	420,2 abcd	120	5,0
10	20 % Ca + 80 % R	46,9 ab	1144,6 cd	294,9 abcd	413,3 abcd	160	5,0
11	25 % Ca + 75 % R	43,6 ab	1243,7 bcd	246,4 d	412,7 abcd	180	4,6
12	30 % Ca + 70 % R	45,6 ab	1389,8 abcd	266,9 cd	482,0 abc	190	4,4
13	35 % Ca + 65 % R	44,6 ab	1458,4 abc	410,0 ab	524,8 ab	210	4,0
14	40 % Ca + 60 % R	48,0 a	1320,1 abcd	346,7 abcd	482,6 abc	320	3,5
15	45 % Ca + 55 % R	49,1 a	1195,5 bcd	350,9 abcd	382,9 abcd	500	3,2
16	50 % Ca + 50 % R	51,7 a	1234,5 bcd	255,7 d	331,2 cd	840	3,0

Legenda: PR = pó de rebarba de compósito

Ca = pó de calcita

FE= valor fora da escala do instrumento de medição

(\*)= numa mesma coluna, medidas seguidas de pelo menos uma letra, não diferem significativamente ( $\alpha = 5\%$ ).

Com o propósito de comparar os comportamentos físico-mecânicos entre os tipos de cargas, ou seja, entre a calcita – carga tradicionalmente utilizada nos processos de transformações convencionais – e, em específico, ao processo de moldagem por injeção de resina (RTM), e a carga reciclada proposta por este estudo, proveniente da moagem e micronização de rebarbas de compósitos de resina poliéster e fibra de vidro, pode-se

observar através da Tabela 5 que os corpos-de-prova retirados da placa 1 não apresentam cargas. Estes corpos-de-prova servem como um referencial para comparar os efeitos provocados pelo acréscimo das cargas, seja a calcita ou o pó reciclado.

Nos corpos-de-prova retirados das placas 2 a 7 foram utilizadas misturas de resina poliéster UC-5518 e pó de rebarbas de compósitos, e nos corpos-de-prova retirados das placas 8 a 16 foram utilizadas misturas contendo a mesma resina, porém, a carga foi a calcita. Pode-se observar um relacionamento entre os corpos-de-prova retirados das placas 2 e 8; 3 e 9; 4 e 10; 5 e 11; 6 e 12, e entre a 7 e 13. O fato das placas estarem relacionadas duas a duas entre as posições 2 e 13 na Tabela 5, significa que os corpos-de-prova retirados destes pares de placas têm a mesma porcentagem em peso de carga dentro da mistura. Esta parceria deixou de existir a partir dos corpos-de-prova retirados da placa 14, devido à viscosidade da mistura contendo pó reciclado elevar-se muito, tornando impraticável seu manuseio e aplicações operacionais. O mesmo não ocorre com a mistura contendo a calcita, que permite continuar a aumentar a sua porcentagem em peso na mistura, chegando até ao nível máximo praticado pelo processo de moldagem por injeção de resina (RTM) que é de 50% de carga, correspondendo aos corpos-de-prova retirados da placa 16 na Tabela 5.

A densidade do pó de rebarbas de compósito na Tabela 6 representa um valor correspondente a uma mistura aleatória entre os tipos de rebarba estudada, conforme descrito no item 5.2 classificação das rebarbas pois, é desta forma que as rebarbas são enviadas para os aterros.

Tabela 6. Densidade dos materiais

Tipo de material	Densidade [g.cm <sup>-3</sup> ]
Resina UC-5518	1,094
Pó de Rebarba de Compósito	0,658
Pó de Calcita	1,127

Comparando-se os valores das densidades e viscosidades para cada tipo de pó de rebarbas, conforme ilustrado na Tabela 7, pode-se constatar que o valor máximo observado para a densidade é de  $0,730 \text{ g.cm}^{-3}$ , o qual corresponde a rebarbas provenientes do processo de moldagem por projeção simultânea “Spray-up”, e o valor mínimo encontrado é  $0,538 \text{ g.cm}^{-3}$  proveniente de retalhos de peças fabricadas pelos processos “HLU” e “Spray-up”. A viscosidade máxima observada é de 540 cP e a viscosidade mínima é 400 cP, proveniente dos processos de moldagem por projeção simultânea “Spray-up” e retalhos de peças fabricadas pelos processos “HLU” e “Spray-up” respectivamente.

Tabela 7. Viscosidade para diferentes tipos de pó de rebarbas

Processo de fabricação que originou o pó de rebarba	Densidade do pó [g.cm <sup>-3</sup> ]	Viscosidade Brookfield [cP]
Moldagem manual “HLU”	0,636	420
Projeção simultânea “Spray-up”	0,730	540
Moldagem por injeção de resina “RTM”	0,623	500
Retalhos de peças “HLU” e “Spray-up”	0,538	400
Composição aleatória entre os tipos	0,658	480

Sendo a composição aleatória a situação que melhor representa a composição do volume de rebarbas descartadas e, cujos valores das densidades e viscosidades observados representam uma situação intermediária entre os extremos que são característicos de cada processo isoladamente, adotou-se o pó de rebarbas com composição intermediária como o pó de referência para o prosseguimento dos ensaios desta pesquisa.

## 6.2 Análise microscópica

Mediante estudos microscópicos efetuados no Departamento de Defesa Fitossanitária – Unesp Lageado, foi possível, com o auxílio de uma câmera digital, registrar as características observadas durante as análises comparativas entre o pó de rebarba de composto de resina poliéster com a fibra de vidro e o pó de calcita.

Com a utilização de um microscópio óptico Nikon, ampliando-se cem vezes e empregando a técnica de observação com água lamínula, pode-se observar pela Figura 10 que o pó de rebarbas apresenta formas irregulares dos grãos, não favorecendo a injeção da mistura por entre as mantas de fibra de vidro, podendo ocorrer a formação de pequenas barreiras que impediriam o fluxo da mistura e comprometeriam a qualidade do produto final.

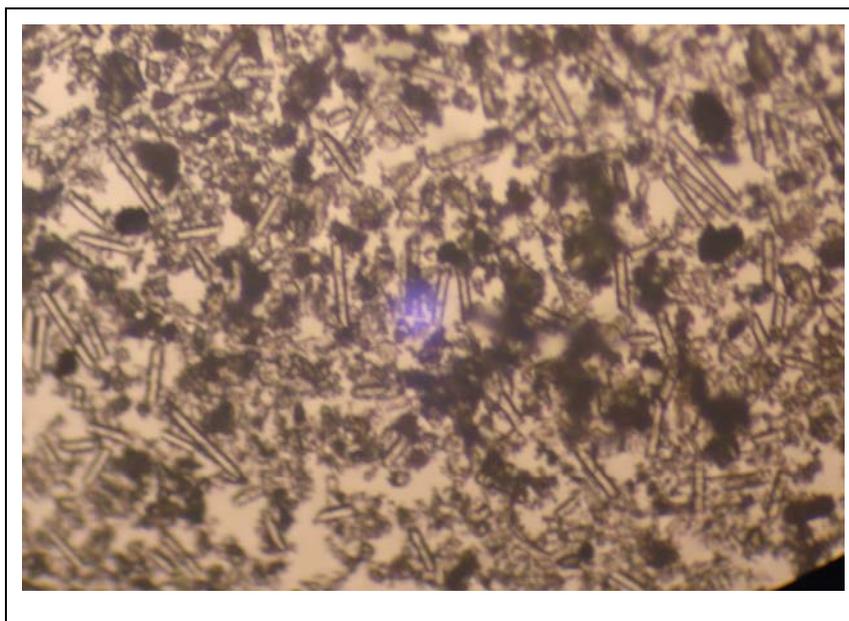


Figura 10. Pó da rebarba de composto a base de resina poliéster e fibra de vidro (100 vezes).

Pela Figura 11 pode-se observar que a forma do pó de calcita é mais arredondada e homogênea, facilitando o escoamento da mistura por entre as mantas de fibra de vidro.

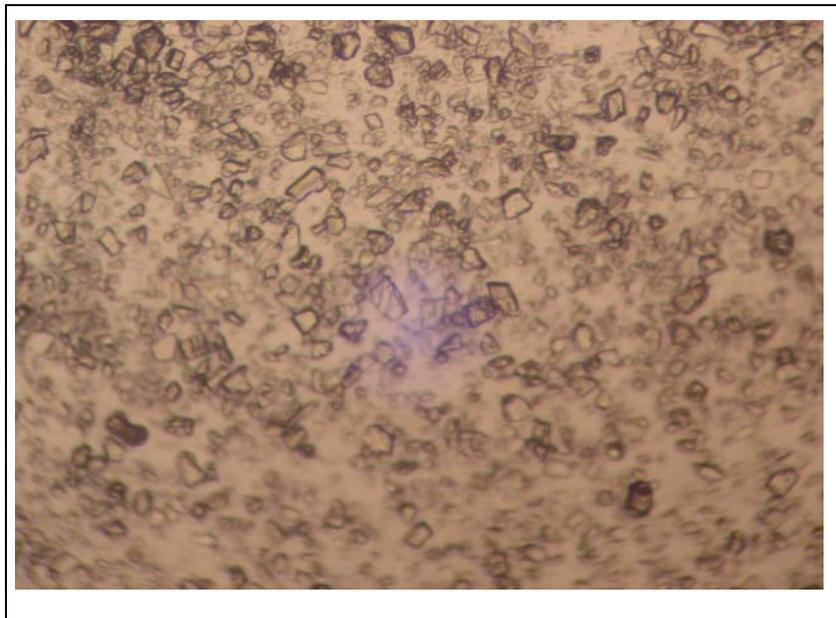


Figura 11. Pó de calcita (100 vezes).

Este tipo de análise é de grande ajuda no desenvolvimento do tipo de moagem e micronização para a produção em nível industrial do pó a partir das rebarbas de compósitos a base de resina poliéster reforçado com fibra de vidro. O pó gerado deverá ter sua granulometria com malha Mesh 200, que equivale dizer que a dimensão máxima do grão é de 0,074 mm e a sua forma, a mais homogênea possível, para facilitar o escoamento da mistura resina e pó durante o processo de injeção.

Muitas técnicas têm sido desenvolvidas como forma de se buscar a reutilização ou degradação destes materiais. O processo de moagem é o escolhido para o presente estudo, em virtude da facilidade de implementação e da possibilidade de retorno econômico. Embora não se tenha o custo da moagem das rebarbas em escala industrial, pode-se comparar que, para cada um quilograma de rebarba de compósito transformado em pó, economiza-se R\$ 0,11 de transporte para o descarte em aterros industriais e deixa-se de gastar R\$ 0,25 na compra de um quilograma de carbonato de cálcio “pó de calcita”. Para tornar-se economicamente viável, o pó de rebarba produzido em escala industrial deverá ter um custo inferior a R\$ 0,36 para cada quilograma transformado nos níveis econômicos atuais, para uma mesma porcentagem de carga e resina.

### 6.3 Viscosidade

Como pode-se observar na Figura 12, a curva da viscosidade Brookfield das placas que utilizam o pó de rebarbas como carga na mistura, tem uma elevação progressiva e diferenciada aos valores das placas contendo a mistura de calcita. O aumento da viscosidade é de tal ordem que torna-se impraticável a elaboração de novas placas com porcentagens superiores a 35% em peso de pó de rebarbas de compósito na mistura.

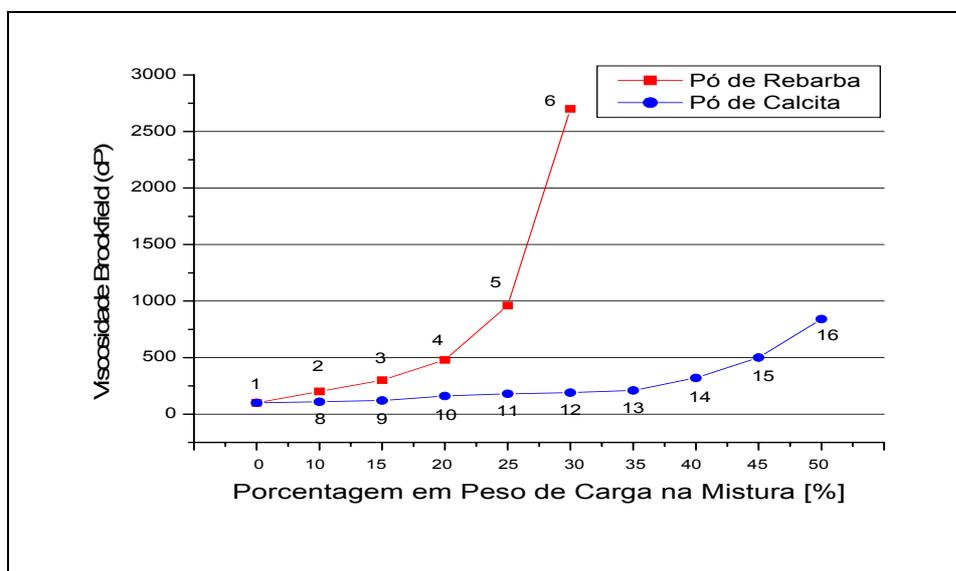


Figura 12. Viscosidade Brookfield da mistura

Um fato a ser destacado neste gráfico, é que a viscosidade da mistura normalmente praticada em um processo de moldagem por injeção de resina RTM está em torno de 500 a 800 cP. Este valor pode oscilar dependendo do equipamento, da complexidade da peça plástica a ser produzida e até mesmo da temperatura-ambiente de trabalho. Observando-se o gráfico, na linha da viscosidade com valor 500 cP, interceptar-se-á a curva da mistura com pó de rebarbas na região da placa 4 e na curva da mistura com calcita, na região da placa 15. Isto significa que a viscosidade da mistura com 20% de pó de rebarbas na placa 4 é aproximadamente igual à da mistura com 45% de calcita, conforme placa 15.

Observando-se também a Tabela 6 das densidades dos materiais, podemos notar que a densidade do pó de rebarbas é de  $0,658 \text{ g.cm}^{-3}$ , a da calcita é de  $1,127$

$\text{g. cm}^{-3}$ , isso significa que, se pegando uma quantidade de pó de rebarbas de compósito e uma outra de mesmo peso de calcita, teremos um volume de pó de rebarbas em torno de 71,2% maior, fazendo com que este excesso de pó de rebarbas torne a sua mistura mais viscosa que a mistura da calcita para uma mesma quantidade em peso.

Diante dessas observações, é possível destacar-se que o fator viscosidade é um limitante operacional, pois deve-se garantir o manuseio do equipamento e a fluidez da mistura entre as mantas durante o processo de injeção. Assim sendo, pelo aspecto viscosidade, para substituir uma mistura de 45% em peso de calcita em um processo de moldagem por injeção (RTM), idêntica à placa 15, por pó de rebarbas, não se deve ultrapassar a quantidade de 20% em peso, equivalente à placa 4.

#### 6.4 Dureza

Na Figura 13, nota-se que as durezas Barcol nas placas fabricadas com o pó de rebarbas de compósito são menores se comparadas às placas construídas com a mesma porcentagem em peso de calcita.

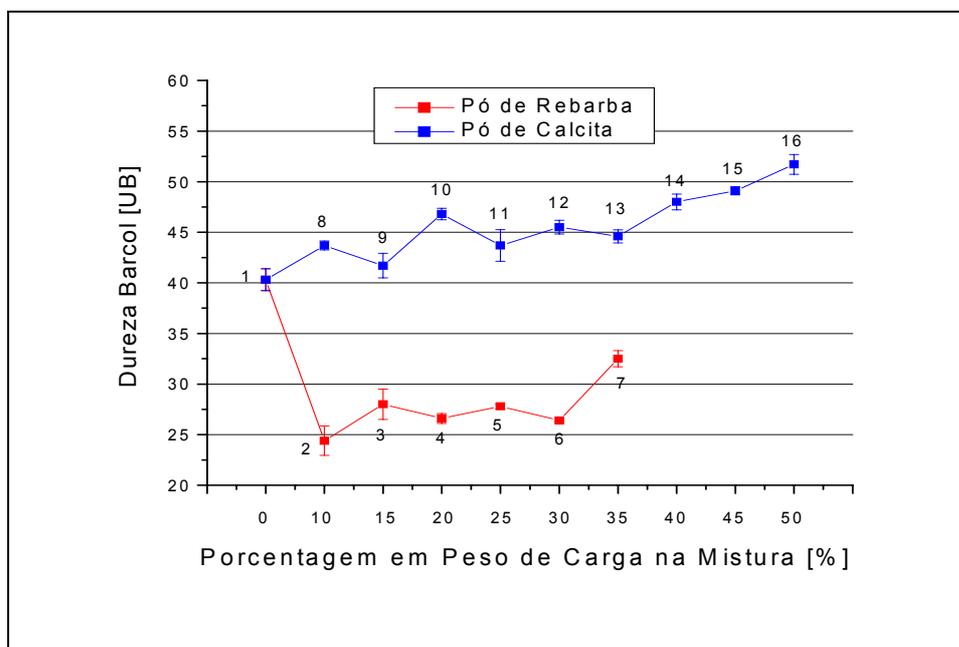


Figura 13. Dureza Barcol

Para cada uma das placas foram efetuadas cinco medições de dureza, conforme posicionamento de leitura ilustrado na Figura 9 e representado graficamente, conforme a Figura 13, o valor médio aritmético obtido, juntamente com o respectivo desvio-padrão.

Analisando-se separadamente o comportamento de cada tipo de carga (pó de rebarbas e pó de calcita), ambos apresentam uma mesma característica – o aumento da dureza com o aumento da porcentagem de carga na mistura.

Comparando-se as durezas entre as placas 2 a 13 e observando as diferenças entre os valores das placas de mesma porcentagem de carga, nota-se que a redução média de valores é de 16,7 UB nas placas que utilizaram pó de rebarbas. De acordo com o desenvolvimento da análise de variância (ANOVA com  $P > 5$ ) sobre os dados da dureza Barcol e complementado pelo teste de Tukey, pode-se observar entre as placas de mesma porcentagem de carga que os pares 3 e 9; 7 e 13 são estatisticamente iguais entre si. No aspecto dureza, é possível afirmar que é característico deste tipo de material (mistura contendo pó de rebarbas), apresentar valores inferiores se comparados aos materiais que utilizam como carga a calcita, cabendo a cada projeto desenvolvido a consideração de tais características.

Mediante os resultados apresentados, podemos afirmar que sua dureza é menor, lembrando-se que a maioria das peças têm função de acabamento e, para as que têm também a função estrutural, observa-se, em muitos casos, a necessidade de inserção de reforços do próprio material ou até mesmo reforços metálicos nas regiões mais solicitadas a esforços.

## **6.5 Estabilidade dimensional**

É sabido que a utilização de cargas minerais, como a calcita, promove um aumento da dureza da peça fabricada, aumentando assim a sua resistência ao desgaste e conferindo uma maior estabilidade dimensional se comparado à resina sem carga. O fato da mistura na qual utilizou-se como carga o pó de rebarbas de compósito ter apresentado uma

dureza inferior e mantido a estabilidade dimensional conforme Figura 14, não deve ser entendido como um material de qualidade inferior, mas sim como um material com características específicas.

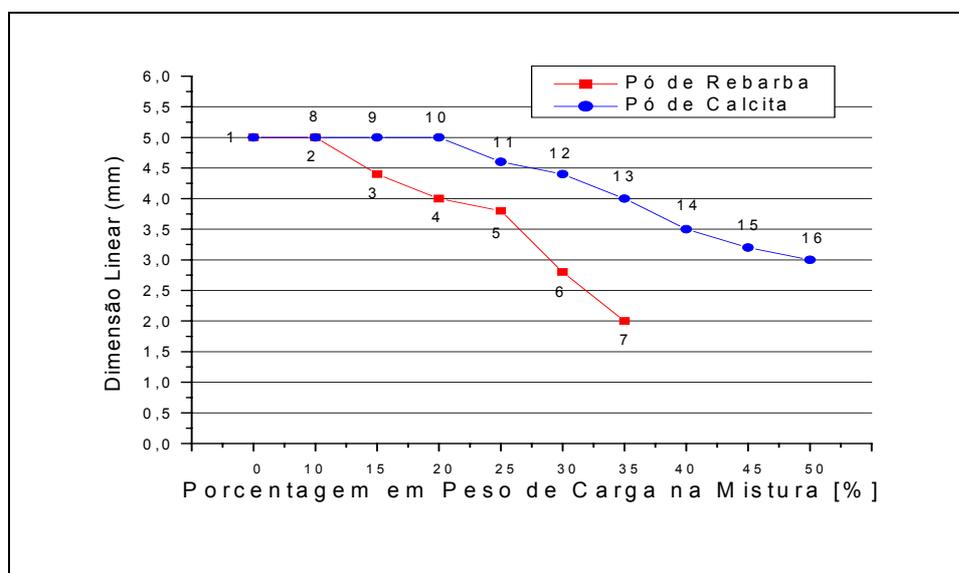


Figura 14. Contração linear após a polimerização

Analisando-se separadamente o comportamento de cada tipo de carga (pó de rebarbas e pó de calcita), observa-se que ambos apresentam uma mesma característica – a diminuição da contração dimensional linear com o aumento da porcentagem de carga na mistura. Comparando-se os valores da contração linear entre os corpos-de-prova correspondentes às placas 2 a 13, e observando as diferenças entre os valores dimensionais dos corpos-de-prova de mesma porcentagem de carga, nota-se que a redução média de valores é de 1,0 mm. Isso significa que houve redução da contração nos corpos-de-prova comparada à mistura com calcita. Pela Figura 14 pode-se notar que há uma tendência da mistura com o pó de rebarba ser mais estável dimensionalmente.

## 6.6 Resistência ao impacto

Apesar da dureza ter sido menor para a mistura com pó de rebarbas, conforme visto na Figura 13, a resistência ao impacto não diminuiu nas mesmas proporções.

Em três placas com misturas de pó de rebarbas (3, 5 e 6) os valores médios foram superiores aos da mistura com pó de calcita, placas (9, 11 e 12), conforme observa-se na Figura 15.

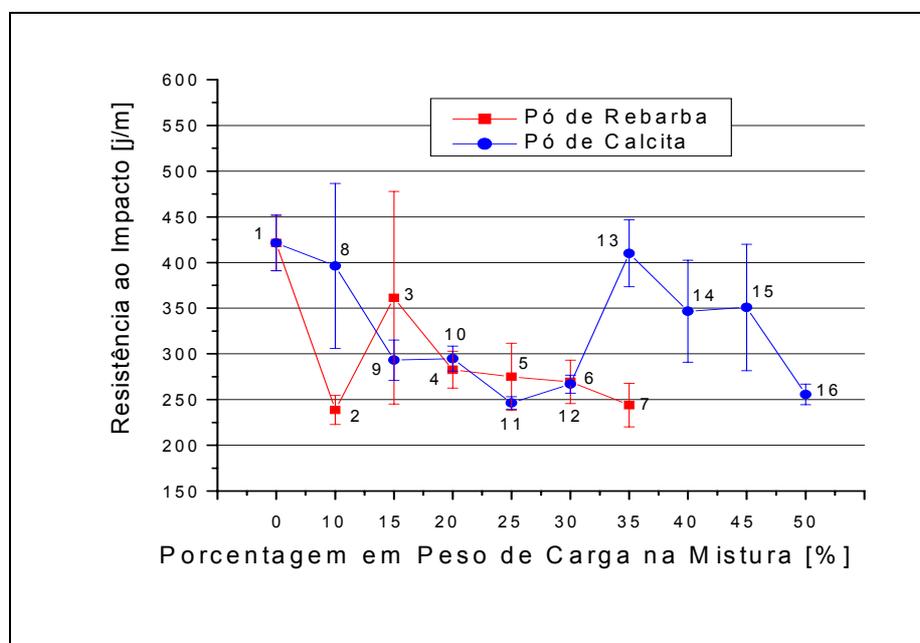


Figura 15. Resistência ao impacto, Izod, com entalhe.

Após a realização de cinco ensaios de resistência ao impacto para cada tipo de placa e os valores médios obtidos, juntamente com o desvio-padrão, foram registrados em cada ponto deste gráfico. O comportamento observado em cada tipo de carga (pó de rebarbas e pó de calcita) retrata uma mesma característica – a diminuição da resistência ao impacto com o aumento da porcentagem de carga na mistura.

De acordo com o desenvolvimento da análise de variância (ANOVA com  $P > 5$ ) sobre os valores da resistência ao impacto e complementado pelo teste de Tukey, pode-se observar entre as placas de mesma porcentagem de carga que os pares 3 e 9; 4 e 10; 5 e 11; 6 e 12 são iguais estatisticamente. Observando-se a Figura 15, nota-se que os valores correspondentes às placas 3 e 9, assim como 5 e 11; 6 e 12; apresentam uma ligeira vantagem a favor do material reciclado, porém, percebe-se uma redução média de valores correspondentes às placas 2 a 13 na ordem de  $39,5 \text{ J.m}^{-1}$ . Portanto, houve uma pequena redução da resistência ao impacto. Este valor é considerado pequeno e a exemplo do que já foi

mencionado, o projetista da peça poderá aumentar a espessura da peça nas regiões aonde por ventura venha a existir este tipo específico de solicitação, ou seja, o impacto.

### 6.7 Resistência à flexão

Na Figura 16, percebe-se que a resistência à flexão nos corpos-de-prova retirados das placas fabricadas com o pó de rebarbas de compósitos, são ligeiramente menores se comparadas às dos corpos-de-prova com calcita. Em uma única placa contendo pó de rebarbas – placa 4, o valor médio chegou a ser maior que a mistura contendo pó de calcita – placa 10.

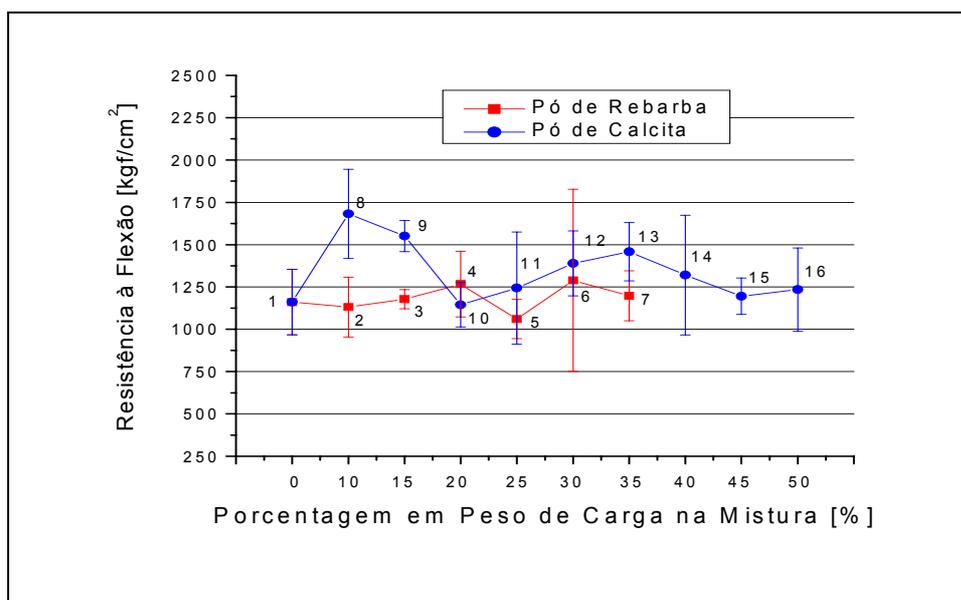


Figura 16. Resistência à flexão

Para cada tipo de placa foram retirados cinco corpos-de-prova. O valor médio obtido, juntamente com o desvio-padrão, foi registrado em cada ponto deste gráfico. Analisando-se separadamente o comportamento de cada tipo de carga (pó de rebarba e pó de calcita), nota-se que enquanto o pó de calcita apresenta uma diminuição da resistência à flexão com o aumento da porcentagem de carga na mistura, o pó de rebarbas tem seus valores oscilando em torno de um eixo na posição horizontal.

Analisando-se a Figura 16, nota-se que os valores obtidos das placas 4 e 10, com mesma porcentagem de carga, assim como 5 e 11; 6 e 12; 7 e 13; são estatisticamente iguais, de acordo com o desenvolvimento da análise de variância (ANOVA com  $P>5$ ) sobre os dados da resistência à flexão e complementadas pelo teste de Tukey. Comparando-se ainda os valores nas placas 2 a 13 e observando-se as diferenças de valores, é possível notar uma redução média de  $224,6 \text{ kgf.cm}^{-2}$ . Portanto, houve uma pequena redução da resistência à flexão.

### 6.8 Resistência à tração

Na Figura 17, nota-se que a resistência à tração nos corpos-de-prova retirados de cada uma das placas, são menores nas misturas com o pó de rebarbas de compósitos, se comparadas às misturas que utilizam pó de calcita.

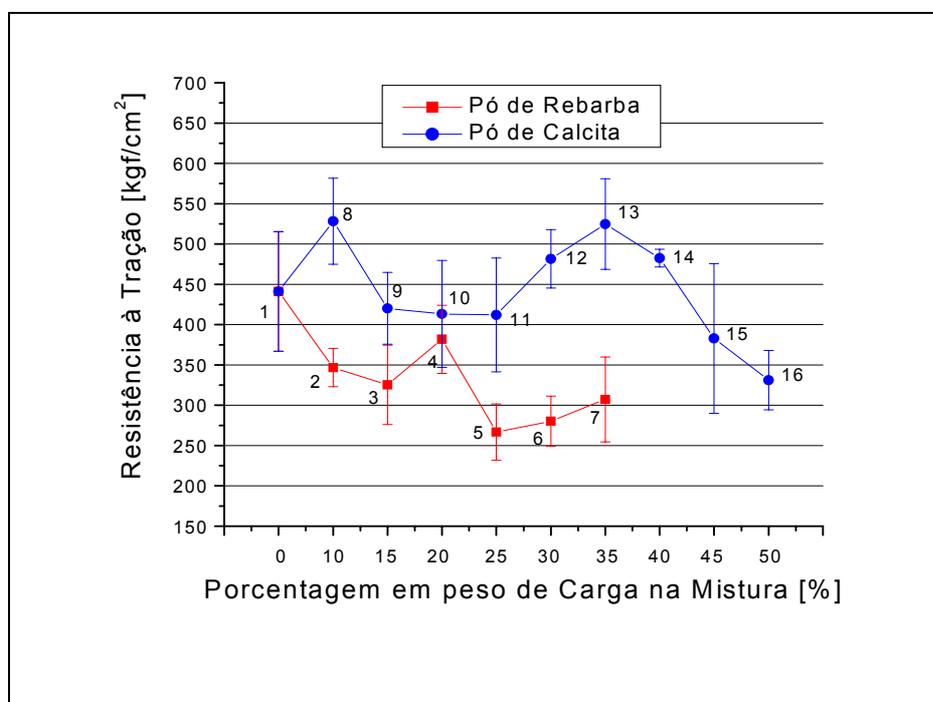


Figura 17. Resistência à tração

Os valores registrados na Figura 17 correspondem a uma média de cinco ensaios de resistência à tração para cada tipo de placa e o valor médio obtido, juntamente com o desvio-padrão, foram registrados em cada ponto deste gráfico. Analisando-se separadamente o comportamento de cada tipo de carga (pó de rebarbas e pó de calcita), nota-se que ambos apresentam uma mesma característica – a diminuição da resistência à tração com o aumento da porcentagem de carga na mistura.

Analisando-se a Figura 17 nota-se que os valores da resistência à tração nos corpos-de-prova retirados das placas de mesma porcentagem de carga, para os pares 3 e 9; 4 e 10; 5 e 11, são estatisticamente iguais, de acordo com o desenvolvimento da análise de variância (ANOVA com  $P > 5$ ) sobre os valores da resistência à tração e complementadas pelo teste de Tukey. Comparando-se ainda os valores obtidos dos corpos-de-prova retirados das placas 2 a 13, observa-se a redução média de valores de  $145,5 \text{ kgf.cm}^{-2}$ . Isso demonstra que houve uma redução da resistência à tração para as placas que utilizam pó de rebarba como carga.

## **6.9 Viscosidade em função do tempo de mistura**

A viscosidade em função do tempo de mistura é de grande importância para o estudo do aproveitamento das rebarbas de fibra de vidro na moldagem por injeção de resina (RTM). Decorridas as primeiras sete horas do início da mistura e sem agitação, observou-se o acréscimo da viscosidade de 480 cP para 840 cP e assim sucessivamente para as horas subsequentes, conforme observa-se na Tabela 8.

Tabela 8. Viscosidade em função do tempo de mistura

Data	Horário da leitura [h]	Temperatura [°C]	Tempo corrido [h]	Viscosidade Brookfield [cP]
25.01.2005	9:00	23	0,0	480
25.01.2005	11:00	23	2,0	600
25.01.2005	13:00	23	4,0	740
25.01.2005	15:00	23	6,0	820
25.01.2005	16:00	23	7,0	840
26.01.2005	8:00	23	23,0	1120
26.01.2005	9:00	23	24,0	1160
26.01.2005	15:00	23	30,0	1240
27.01.2005	11:00	23	50,0	1460
28.01.2005	16:00	23	79,0	1760
31.01.2005	10:00	23	121,0	2000
31.01.2005	15:00	23	126,0	2200
01.02.2005	9:00	23	144,0	2520
01.02.2005	16:00	23	151,0	2800

As Figuras 18a e 18b mostram a evolução do aumento da viscosidade da mistura a partir da união da resina com o pó de rebarbas de compósito de fibra de vidro e sem a inclusão de agentes catalisadores. Este fenômeno ocorre devido à presença de resíduos de peróxidos e de estireno nas rebarbas de fibra, provocando assim um aumento da velocidade de polimerização.

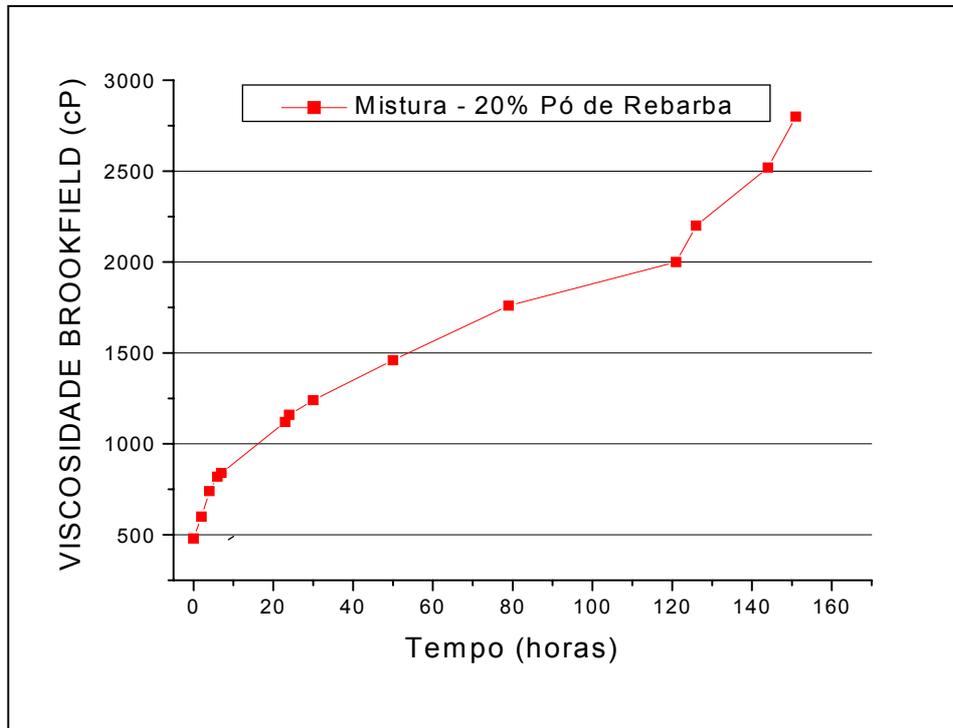


Figura 18a. Viscosidade em função do tempo de mistura

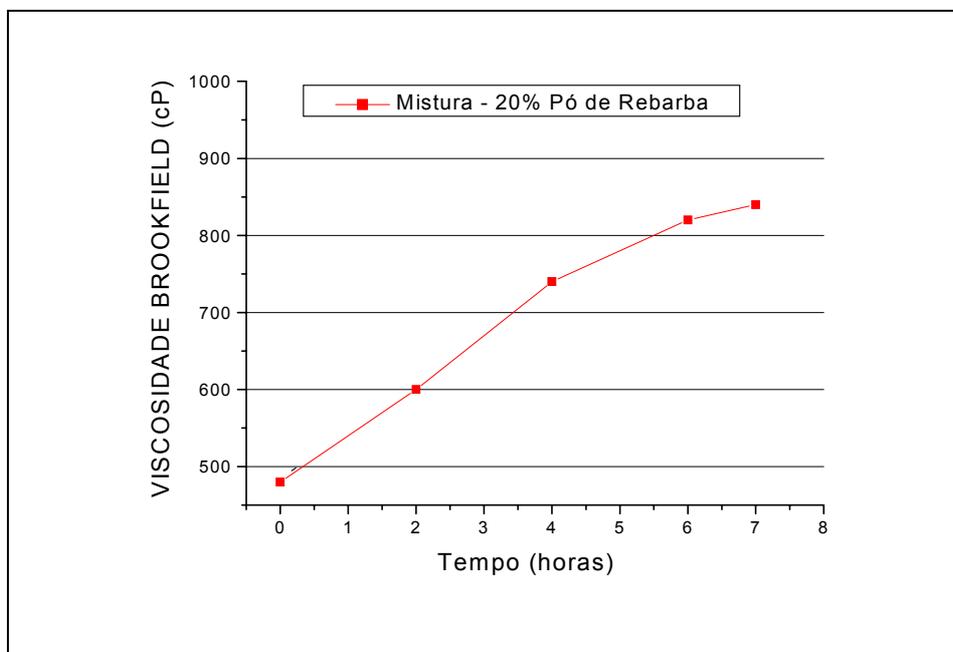


Figura 18b. Viscosidade em função do tempo de mistura

## 6.10 Resultados práticos operacionais

Um teste de grande importância para este estudo, é a verificação operacional, isto é, observar na prática, a fabricação de peças pelo processo RTM. Utilizando-se uma proposta de mistura contendo resina poliéster UC-5518 e pó de rebarbas de compósito a base de resina poliéster e fibra de vidro, contendo 80% em peso de resina e 20% em peso de pó de rebarbas, equivalente à composição da mistura da placa 4 de ensaio, correspondendo a uma viscosidade próxima de 480 cP como pode ser observado pela Figura 12, fabricaram-se duas peças utilizando-se a mistura proposta.

Um outro fator importante a ser analisado antes da preparação da mistura entre a resina e o pó de rebarbas, é o aumento da viscosidade após um determinado tempo do início da mistura. O pó de rebarbas carrega consigo vestígios da primeira vez em que foi processado e conforme é observado na Figura 18, decorrida as primeiras sete horas do início da mistura, a viscosidade da mistura proposta salta de 480 cP para 840 cP, sem mesmo ter adicionado qualquer quantidade de catalisador. Este fenômeno faz com que se tome o cuidado de preparar apenas uma quantidade que irá ser consumida no próprio dia e manter a mistura em constante movimento, mediante um agitador pneumático para garantir a homogeneidade da mistura, evitando a formação de depósito no fundo do recipiente. Conseqüentemente, estará evitando-se o aumento da concentração de partículas no fundo e o seu endurecimento.

Os testes operacionais foram realizados nas dependências da Induscar-Caio, a máquina de injeção utilizada é do tipo Megaject Mk II – Plastech, com bombas dosadoras para a resina e catalisador. Os testes de viabilidade prática foram efetuados em uma peça de acabamento externo de um determinado tipo de ônibus, onde posteriormente recebe a pintura de fundo e em seguida a de acabamento. A regulagem do equipamento, a rotina e o procedimento de trabalho durante a fabricação das peças com a mistura proposta, foram mantidas as mesmas utilizadas no processo normal de fabricação, onde é utilizada uma mistura de 60% em peso de resina poliéster UC-5518 e 40% em peso de pó de calcita, equivalente à mistura da placa 14 de ensaios. Durante a fabricação das amostras contendo a mistura

proposta, não foi constatada nenhuma anormalidade operacional, o que permite concluir que o processo é viável operacionalmente.

Como não se tem, ainda, o custo real da fabricação do pó de rebarbas de compósitos em escala industrial, fica impraticável o levantamento de custo desta peça. Entretanto podem-se efetuar algumas comparações entre o processo proposto (mistura com pó de rebarbas) e o convencional (mistura com pó de calcita):

a) O peso da peça proposta é 659 gramas contra 768 gramas da peça convencional. Observa-se uma redução de 109 gramas no peso da peça proposta, correspondendo a uma redução de 14,2% no peso. Essa redução já é prevista pois a densidade da mistura proposta ( $1,21 \text{ g.cm}^{-3}$ ) é menor que a densidade da mistura convencional ( $1,44 \text{ g.cm}^{-3}$ ), acarretando uma redução no peso do produto final

b) Neste teste, pelo processo convencional, utiliza-se 277 gramas de pó de calcita e 416 gramas de resina poliéster, já no processo proposto, utiliza-se 117 gramas de pó de rebarbas e 467 gramas de resina poliéster. Isso significa que ao substituir o processo convencional, está reduzindo R\$ 0,10, provenientes de 277 gramas de pó de calcita ( $0,25 \text{ R\$.kg}^{-1}$ ) correspondendo a R\$ 0,07 acrescido do custo de 277 gramas de resíduos que deixaram de ser aproveitados e foram destinados a aterros ( $0,11 \text{ R\$.kg}^{-1}$ ), correspondendo a R\$ 0,03. Por outro lado, o custo referente ao processo proposto é acrescido de R\$ 0,45, provenientes de 117 gramas de pó de rebarbas ( $0,36 \text{ R\$.kg}^{-1}$  valor economicamente viável) correspondendo R\$ 0,04 acrescidos do custo de 51 gramas de resinas ( $8,00 \text{ R\$.kg}^{-1}$ ), correspondendo a R\$ 0,41. Fazendo-se a diferença entre o acréscimo do custo referente ao processo reciclado (R\$ 0,45) e a redução correspondente ao processo convencional (R\$ 0,10), havendo, portanto, um acréscimo final de R\$ 0,35 no custo da matéria prima da peça em questão (10,5% do custo da resina), o que significa que não é economicamente viável. Para tentar-se viabilizar economicamente o processo proposto, é preciso investigar os itens a seguir:

b.1) Conforme descritos no item 4.4.1, o monômero de estireno tem a função de solvente, fator que determina a redução da viscosidade de uma resina poliéster insaturada. Dessa forma, existe a possibilidade de formular-se uma resina poliéster insaturada específica para a utilização de pó de rebarbas como carga, direcionada ao processo de

moldagem por injeção de resina (RTM). Essa resina reformulada compensaria a viscosidade da mistura proposta, fazendo-se com que a substituição do pó de rebarbas seja na mesma proporção do carbonato de cálcio. Conforme observado no item 6.2, onde o custo do pó de rebarba não deve ultrapassar o custo do pó de calcita acrescido do custo de descarte das rebarbas em aterros, para uma mesma quantidade em peso, teríamos, neste caso, uma proposta de substituição de processo economicamente viável.

b.2) Uma outra possibilidade de transformar a proposta economicamente viável e sem alterar a resina poliéster insaturada, é a formulação de uma mistura híbrida de cargas, utilizando-se simultaneamente pó de rebarbas e pó de calcita, na preparação de uma mistura, cujas proporções de cada componente deverão respeitar a viscosidade máxima operacionalmente permitida para a mistura resultante.

Para estudar-se qualquer um dos itens investigativos (b.1 e b.2), quanto à viabilidade econômica, seriam necessárias a elaboração de novas placas de testes, envolvendo o fornecedor de resina, para o caso do item ( b.1) e a confecção de novas placas com misturas de cargas híbridas, para o caso do item ( b.2 ), com variação das porcentagens em peso de cada tipo de carga, respeitando-se o limite máximo permissível para a viscosidade Brookfield da mistura e repetir os ensaios físico-mecânicos para avaliar as novas condições da mistura proposta. Para ambos os casos devem-se ter também o custo real da moagem e micronização da rebarba de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro. Desta forma, entende-se que este estudo deve ocorrer em uma fase posterior aos estudos apresentados neste trabalho.

c) As diferenças de propriedades físico-mecânicas da peça, seguem os valores apresentados nas Figuras 12 a 18. No caso específico deste produto, que é uma peça de acabamento, não sofrerá com a redução de alguns valores dessas propriedades.

Pretende-se, com o resultado desta pesquisa, contribuir para o desenvolvimento de novas tecnologias no reaproveitamento de resíduos de compósitos de poliéster e fibra de vidro, possibilitando a redução do volume de resíduos enviados para aterros e a geração de empregos e, para a recicladora, obter ganhos econômicos, produzindo

um produto de boa qualidade, podendo oferecer até mesmo vantagens sobre outros produtos feitos com outro tipo de material (virgem) para a mesma função.

## 7 CONCLUSÃO

Analisando-se os resultados dos ensaios físicos e mecânicos, funcionalidade e implementação operacional, aspectos ecológicos e viabilidade econômica, conclui-se que as rebarbas de compósitos termorrígidos podem ser moídas e micronizadas mecanicamente, dando origem a um pó fino. Dependendo do tipo de rebarba, o pó gerado terá densidade entre  $0,538 \text{ g.cm}^{-3}$  e  $0,730 \text{ g.cm}^{-3}$ . No caso específico deste estudo, utilizou-se uma mistura aleatória de rebarbas do tipo “HLU”, “SPRAY-UP”, “RTM” e retalhos de peças, e obteve-se densidade  $0,658 \text{ g.cm}^{-3}$ . O pó de rebarbas com granulometria Mesh 200, equivalente a dimensão máxima das partículas na ordem de  $0,074 \text{ mm}$ , pode ser misturado com resina poliéster insaturada. A viscosidade da mistura depende da porcentagem em peso do pó de rebarbas adicionado à resina, quanto maior a porcentagem de pó adicionada, maior será a viscosidade da mistura.

A carga mineral, carbonato de cálcio, conhecida como pó de calcita, muito utilizada no processo de fabricação de compósitos termorrígidos, pode ser substituída por pó de rebarbas. Entretanto, deve-se atentar a dois fatores característicos ao pó de rebarbas: primeiramente, para substituir a mesma quantidade em peso de calcita por pó de rebarbas em

uma mistura, tem-se uma viscosidade maior quando utiliza-se pó de rebarbas. Um outro fator, o pó de rebarbas pode apresentar resíduos de estireno e de peróxido da primeira vez em que foi processado, isso faz com que se inicie um lento processo de polimerização mesmo sem a presença intencional de catalisadores.

A utilização de pó de rebarbas no processo de moldagem por injeção de resina “RTM” limita-se a 20% em peso da mistura. A partir desta porcentagem, a viscosidade Brookfield da mistura ultrapassa a marca de 480 cP, e, associado ao fenômeno da polimerização, devido à presença de resíduos de peróxido e estireno, poderá elevar-se e comprometer o escoamento da mistura por entre as mantas.

A dureza Barcol de uma peça fabricada pelo processo “RTM” e utilizando-se 20% em peso de pó de rebarbas na mistura é menor comparada à dureza de uma mistura contendo a mesma porcentagem em peso de calcita. Porém, em muitos casos, as peças têm função de acabamento e para as que têm função estrutural, observa-se a inserção de reforços do próprio material ou até mesmo reforços metálicos nas regiões mais solicitadas a esforços.

A estabilidade dimensional de uma mistura contendo pó de rebarbas é maior se comparada à estabilidade de uma mistura contendo calcita nas mesmas proporções em peso na mistura.

A resistência ao impacto de compósito fabricado pelo processo de moldagem por injeção de resina “RTM” e utilizando-se pó de rebarbas na condição de carga, apresenta uma pequena redução nos seus valores comparados aos dos compósitos que utilizam calcita como carga e nas mesmas condições de porcentagem.

Os compósitos fabricados com pó de rebarbas apresentam pequenas reduções de valores da resistência à flexão, quando comparada aos valores dos compósitos fabricados com carbonato de cálcio “calcita” e nas mesmas porcentagens em peso na mistura.

A resistência à tração no compósito fabricado pelo processo de moldagem por injeção de resina “RTM” e utilizando-se pó de rebarbas na condição de carga, é menor se comparada a compósitos que utilizam calcita como carga e com a mesma porcentagem em peso na mistura.

Devido à presença de resíduo de estireno e peróxidos nas rebarbas de compósitos a base de resina poliéster e fibra de vidro, o pó gerado deve ser misturado à resina e

utilizado em um intervalo de tempo em que a viscosidade não ultrapasse o limite operacional da máquina de injeção.

A mistura, resina e pó de rebarbas, deve ser mantida em agitação para garantir a homogeneidade durante a injeção. Este procedimento já é praticado para a mistura contendo pó de calcita.

Mantida a condição da viscosidade de injeção da mistura, o peso da peça produzida com pó de rebarbas (20% em peso da mistura) é 14,2% menor se comparado ao peso da peça fabricada com pó de calcita (40% em peso da mistura), comparando-se economicamente observa-se um acréscimo no custo da matéria prima (10,5% do custo da resina).

Para que o processo torne-se economicamente viável, é necessário efetuar um estudo para que o sistema de moagem e micronização das rebarbas ocorram na própria empresa geradora das rebarbas, de modo que, para uma produção de pó em escala industrial, seu custo não ultrapasse a soma do custo do pó de calcita com o custo de descarte das rebarbas em aterros industriais. Além disso, a substituição do pó de calcita por pó de rebarba na mistura com a resina, deve ocorrer na mesma proporção em peso, respeitando-se a viscosidade máxima operacional para o processo de moldagem por injeção de resina “RTM”. Para que isso ocorra, existem pelo menos dois caminhos a serem investigados:

- O primeiro deles, diz respeito à reformulação da resina de modo que ela permita a substituição da calcita pelo pó de rebarbas na mesma porcentagem em peso e que o comportamento da viscosidade também siga ao da calcita, isto é, que não se eleve tanto na medida em que aumente a porcentagem da carga. Para este caso, envolveria uma parceria com os fabricantes de resina poliéster insaturada e a confecção de novas placas de ensaios para a verificação das propriedades físicas e mecânicas decorrente da alteração da composição da resina na mistura.

- O segundo caminho a ser investigado, mantendo-se a resina atual, é a determinação de uma carga híbrida contendo pó de calcita e pó de rebarba. Neste caso, de posse do custo real para a fabricação do pó de rebarbas em escala industrial, deverá ser estudada uma composição que melhor atenda a variável viscosidade e, simultaneamente, apresente o melhor desempenho econômico. Recomenda-se, para os resultados

economicamente viáveis, a confecção de novas placas de ensaios para a verificação das propriedades físicas e mecânicas decorrentes da alteração da composição das cargas na mistura.

Para finalizar, as rebarbas de compósitos a base de resina poliéster insaturada e fibra de vidro, quando transformadas em pó e reutilizadas como cargas no processo de moldagem por injeção de resina "RTM", apresentam propriedades físicas e mecânicas interessantes que viabilizam a sua utilização, além de solucionar um problema de poluição ambiental, apresenta grande potencial para tornar sua implementação economicamente viável.

Tabela 9. Resumo da conclusão

Itens relevantes	Substituição do pó de calcita por pó de rebarba
Preservação ecológica	Reciclando as rebarbas mediante a sua moagem e micronização e retornando-as no próprio processo produtivo, na condição de carga, estará contribuindo para a redução de lixos em aterros e preservando as reservas naturais de cargas minerais.
Transformação das rebarbas de compósitos em pó	As rebarbas de compósitos termorrígidos podem ser moídas e micronizadas mecanicamente, dando origem a um pó fino. Dependendo do tipo de rebarba, o pó gerado terá densidade entre $0,538 \text{ g.cm}^{-3}$ e $0,730 \text{ g.cm}^{-3}$ contra $1,127 \text{ g.cm}^{-3}$ da calcita.
Viscosidade da mistura resina e carga	Devido a densidade do pó de rebarba ser menor que a do pó de calcita, para uma mesma porcentagem em peso terá uma viscosidade maior.
Fator limitante para a substituição da carga no processo RTM	Limita-se a 20% em peso de pó de rebarba correspondente a uma viscosidade de 480 cP. Um outro fator é a presença de resíduos de estireno e peróxidos nas rebarbas que limita o tempo para a sua utilização no máximo em 7 horas após a mistura de 20% em peso a 860 cP.

Tabela 9. Resumo da conclusão - continuação

---

Características físico-mecânicas	A dureza Barcol, resistência ao impacto, tração e flexão, das placas que utilizaram pó de rebarbas, mostraram-se valores ligeiramente inferiores para uma mesma porcentagem em peso. Alguns pontos foram até superiores e muitos ficaram estatisticamente iguais. Existe o recuso do projeto suprir esta pequena defasagem.
Estabilidade dimensional	A estabilidade dimensional de uma mistura contendo pó de rebarbas é maior se comparada à estabilidade de uma mistura contendo calcita nas mesmas proporções em peso na mistura.
Fator operacional	Testes práticos mostraram que a substituição da calcita por pó de rebarba pode ser realizada normalmente.
Viabilidade econômica	Para que o processo torne-se economicamente viável, é necessário que o sistema de moagem e micronização das rebarbas ocorram na própria empresa geradora das rebarbas, de modo que o custo de fabricação do pó de rebarba em escala industrial, deve ser inferior ao custo da calcita mais custo de descarte da rebarba. Mantida essa condição para a substituição da calcita em porcentagens inferiores a 20% em peso o processo é economicamente viável, com a vantagem de reduzir o peso final da peça devido a densidade do pó de rebarba ser menor que a do pó de calcita. Para substituição de misturas contendo porcentagem entre 20% e 50% em peso de calcita não é possível a substituição em igual porcentagem em pó de rebarba devido o fator limitante da viscosidade. Neste caso deverá ser investigada a possibilidade de alterações das propriedades da resina junto ao fabricante ou utilizar uma carga híbrida contendo pó de rebarba e pó de calcita e efetuar novos testes.

---

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMACO. Associação Brasileira de Materiais Compósitos, Disponível em: <<http://www.abmaco.org.br/compositos.cfm>>. Acesso em: 12 nov. 2004.

AIMPLAS – Instituto Tecnológico Del Plástico-Espanha. **Boletín de información tecnológica para el sector del plástico**. Espanha, mar. 2004. Disponível em: <<http://www.aimplas.es/pdf/boletines/boletin>>. Acesso em: 16 out. 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2196**: Standard test methods for rheological properties of non-Newtonian materials by rotational (Brookfield) viscometer. 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D256**: Standard test methods for impact resistance of plastics and electrical insulating materials. 1984.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D2583**: Standard test method for indentation hardness of rigid plastics by means of a Barcol impressor. 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D635**: Standard test method for rate of burning and/or extent and time of burning of plastics in a horizontal position. 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D638**: Standard test method for tensile properties of plastics. 1987.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D790**: Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**: Lixiviação de resíduos – procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Solubilização de resíduos – procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.007**: Amostragem de resíduos – procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.174**: Armazenamento de resíduos - Classe II – Não Inertes e Classe III – Inertes – Procedimento. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.230**: Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificação de materiais plásticos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/ISO 14.001**: Sistema de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/ISO 14.004**: Sistema de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR/ISO 9000**: Sistema de gestão da qualidade. Rio de Janeiro, 2000.

BARROS, Z. X.,; TORNERO, M. T. **Condições de preservação da vegetação original na Cuesta de Botucatu**. Botucatu, 1992. 10p. originalmente apresentada como Monografia ao curso de Geografia da Unifac - Associação de Ensino de Botucatu.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**, Resolução nº 275, de 25 de abril de 2001. Estabelece código de cores para diferentes tipos de resíduos na coleta seletiva. Data da legislação: 25/4/2001. Publicação DOU de 19/6/2001.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**, Resolução nº 06, de 15 de junho de 1988. Dispõe sobre a geração de resíduos nas atividades industriais, e dá outras providências.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente – Conama**, Resolução nº 10, de 14 de dezembro de 1988. Define as Áreas de Proteção Ambiental (APA's).

BRASIL. **Decreto Lei nº 6.902**, de 27 de abril de 1981. Dispõe sobre a criação de Estação Ecológica, Áreas de Proteção Ambiental, e dá outras providências.

BRASIL. **Decreto Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

BRASIL. **Decreto Lei nº 9605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre a Lei de Crimes Ambientais.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BSI-BS 7750**: Specification for environmental management systems. 1994.

CARVALHO, A. **Cura e pós-cura de resinas poliéster e viniléster**. Passos, MG, 2002, 289p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, **Cadastro de áreas contaminadas no Estado de São Paulo**. São Paulo, Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas\\_contaminadas/relacao\\_areas.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/relacao_areas.asp)>. Acesso em: 12 dez.. 2004.

DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 169p.

ELEKEIROZ. **Manual básico do poliéster insaturado**. Várzea Paulista, SP: 2004, 60p.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, **Coleta seletiva e reciclagem de excedentes industriais**. São Paulo, nov. 2003. Disponível em: <[http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes\\_meio\\_ambiente/manual\\_coleta\\_seletiva.pdf](http://www.fiesp.com.br/download/publicacoes_meio_ambiente/manual_coleta_seletiva.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2004.

GORNI, A. A. **Introdução aos plásticos**. 2003. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/intropol.html>>. Acesso em: 16 set. 2004.

GUEDES, B. & FILKAUSKAS, M. E. **O plástico**. São Paulo: Érica Editora, 1986.

HIDROPLAS. **Metta**: programa de qualidade hidroplás. Botucatu, SP: Gráfica São João, 1994, 305p.

KINLAW, D. C. **Empresa competitiva e ecologia**: desempenho sustentado na era ambiental. São Paulo, Makron Books, 1997, 250p.

LEMOS, A. D.; NASCIMENTO, L. F. A produção limpa como geradora de inovação e competitividade. In: 22º ENAMPAD (Encontro Nacional de Programas de Pós-Graduação em Administração), 1998, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. **Anais...** Foz do Iguaçu: ENAMPAD, 1998. CD-ROM.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1991, 218p.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2004, 208p.

MICHAELI, W. et al. **Tecnologia dos plásticos**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1995, 216p.

NORTH, K. **Environmental business management: an introduction**. Genebra: International Labor Office (ILO), 1992.

OWENS CORNING Disponível em: <<http://www.owenscorning.com.br/mm.asp>>. Acesso em: 18 nov. 2004.

REVISTA DO PLÁSTICO REFORÇADO. **Ao pó voltarás?** São Paulo: Julho/agosto de 2002, edição 26, p.80-85.

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL. **A Evolução das Certificações ISO 14001 no Brasil**. São Paulo: julho/agosto de 2002, Ano VII, edição 38, nº 37.

REVISTA MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL. **A marca história das mil certificações ISO 14001 no Brasil**. São Paulo: maio/junho de 2003, Ano VIII, edição 43, nº 42.

REVISTA PLÁSTICO MODERNO. **Plástico reforçado**. São Paulo: maio de 2000, edição 309.

SÃO PAULO (Estado). **Decreto nº 20.960**, de 08 de junho de 1983. Declara áreas de proteção ambiental regiões situadas em diversos municípios, dentre os quais Corumbataí, Botucatu e Tejuipá.

**9 ANEXOS**

Anexo 1. Relatório de testes Elekeiroz – 018/04-A

 **RELATÓRIO DE TESTES - Assistência Técnica**

Relatório N° : ATC 018/04-A Interno Externo X Data de emissão : 05/10/04

- 1. Cliente :** **INDUSCAR Ind. e Com. de Carrocerias Ltda.**
- 2. Finalidade :** **Avaliar laminados enviados pelo cliente, o qual utilizou a resina UC 5518 com várias percentagens de pó de fibra de vidro em testes físicos mecânicos (Dureza, Flexão, Tração, Impacto)**
- 3. Procedimentos :** Conforme Normas abaixo
- 4. Resultados :** **Seguem abaixo**

Teste Realizado	Unidades	N°01	N°02	N°03	N°04	N°05	N°06	N°07
Dureza Barcol	UB	40,3	24,5	28,0	26,6	27,8	26,3	32,8
Resistência a Flexão	kgf/cm <sup>2</sup>	1160,9	1131,0	1177,9	1266,7	1059,6	1289,3	1197,9
Resistência ao Impacto	j/m	421,3	238,5	361,25	282,7	274,9	269,3	244,0
Resistência a Tração	kgf/cm <sup>2</sup>	441,7	346,8	325,3	381,9	266,67	280,4	307,3

Os corpos de prova dos materiais apresentaram pontos falhos, espessura desuniforme e fibras sobressalientes.

**Codificação das amostras**

- Amostra n° 01 - Laminação manual com 1 manta similar à Chomarat e espessura média de 3,33 mm.
- Amostra n° 02 - Laminação manual, 90 % UC 5518 +10 % Pó de fibra de vidro e espessura média de 3,33 mm.
- Amostra n° 03 - Laminação manual, 85 % UC 5518 + 15 % Pó de fibra de vidro e espessura média de 3,35 mm.
- Amostra n° 04 - Laminação manual, 80 % UC 5518 + 20 % Pó de fibra de vidro e espessura média de 3,30 mm.
- Amostra n° 05 - Laminação manual, 75 % UC 5518 + 25 % Pó de fibra de vidro e espessura média de 3,37 mm.
- Amostra n° 06 - Laminação manual, 70 % UC 5518 + 30 % Pó de fibra de vidro e espessura média de 3,34 mm.
- Amostra n° 07 - Laminação manual, 65 % UC 5518 + 35 % Pó de fibra de vidro e espessura média de 3,37 mm.

• **Normas Seguidas**

	ASTM
Dureza Barcol	D-2583
Resistência a Flexão	D-790
Resistência ao Impacto	D-256
Resistência a Tração	D-638

**5. Conclusão** Sugerimos que os dados acima sejam avaliados versus necessidade do produto final  
Fonte: Everton Carlos Campioto – Elekeiroz

## Anexo 2. Relatório de testes Elekeiroz – 018/04-B


**RELATÓRIO DE TESTES - Assistência Técnica**

Relatório N° : ATC	018/04 - B	Interno	Externo	X	Data de emissão :	05/ 10 / 04
--------------------	------------	---------	---------	---	-------------------	-------------

- 1. Cliente :** INDUSCAR Ind. e Com. de Carrocerias Ltda.
- 2. Finalidade :** Avaliar laminados enviados pelo cliente em testes físicos mecânicos (Dureza, Flexão, Tração, Impacto) onde o mesmo utilizou a resina UC 5518 com várias percentagens de CaCO<sub>3</sub>.
- 3. Procedimentos :** Conforme Normas abaixo
- 4. Resultados :** Seguem abaixo

Teste Realizado	Unidades	N°08	N°09	N°10	N°11	N°12	N°13	N°14	N°15	N°16
Dureza Barcol	UB	43,8	41,6	46,9	43,6	45,6	44,6	48,0	49,1	51,7
Resist.a Flexão	kgf/cm <sup>2</sup>	1682,3	1551,3	1144,6	1243,7	1389,8	1458,4	1320,1	1195,5	1234,5
Resist. ao Impacto	j/m	396,1	293,1	294,9	246,4	266,9	410,0	346,7	350,9	255,7
Resist. a Tração	kgf/cm <sup>2</sup>	528,2	420,2	413,3	412,7	482,0	524,8	482,6	382,9	331,2

Os corpos de prova dos materiais apresentaram pontos falhos, espessura desuniforme.

### Codificação das amostras

Amostra n° 08 - Laminação manual, 90 % UC 5518 + 10 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,1 mm.  
 Amostra n° 09 - Laminação manual, 85 % UC 5518 + 15 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,2 mm.  
 Amostra n° 10 - Laminação manual, 80 % UC 5518 + 20 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,3 mm.  
 Amostra n° 11 - Laminação manual, 75 % UC 5518 + 25 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,1 mm.  
 Amostra n° 12 - Laminação manual, 70 % UC 5518 + 30 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,2 mm.  
 Amostra n° 13 - Laminação manual, 65 % UC 5518 + 35 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,2 mm.  
 Amostra n° 14 - Laminação manual, 60 % UC 5518 + 40 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,3 mm.  
 Amostra n° 15 - Laminação manual, 55 % UC 5518 + 45 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,4 mm.  
 Amostra n° 16 - Laminação manual, 50 % UC 5518 + 50 % CaCO<sub>3</sub> e espessura média de 3,4 mm.

### • Normas Seguidas

	ASTM
Dureza Barcol	D-2583
Resistência a Flexão	D-790
Resistência ao Impacto	D-256
Resistência à Ruptura em Tração	D-638

**5. Conclusão :** Sugerimos que os dados acima sejam avaliados versus necessidade do produto final.

Fonte: Everton Carlos Campioto – Elekeiroz

# 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](#)