

Compressão a Frio de Produtos Moldados a Base de Resíduos de Madeira como Alternativa para a Manufatura Sustentável no Setor Florestal

Cold Compression of Wood Waste as an Alternative for a Sustainable Manufacturing Process of Molded Products on the Forest Sector

Razera, Dalton Luiz
Santos, Aguinaldo dos

Resumo

O presente trabalho trata de estudo desenvolvido na tese de doutorado do autor principal onde estudou-se as implicações para o design decorrentes das variáveis do processo de produção de produtos moldados a partir de partículas de madeira de pinus spp. industrializada, denominada comercialmente de “farinha de madeira”. O artigo reporta a primeira etapa da referida pesquisa onde se buscou através de quasi-experimentos determinar parâmetros para a moldagem e avaliar a viabilidade de produção destes produtos com tecnologias de baixo custo, através da compressão a frio. São apresentadas uma série de considerações que deverão contribuir com aqueles envolvidos no design de produtos utilizando a compressão à frio e, também, com aqueles envolvidos na determinação de processos produtivos acessíveis do ponto de vista econômico.

Palavras Chave: resíduos de madeira, design sustentável, produtos moldados

Abstract

The present study derives from a PhD research carried out by the main author which investigated the implications for design on the use of wood particles obtained from pinus spp for the production of molded products. The article reports the first phase of that project where a number of quasi-experiments were carried out in order to determine the parameters and assess the feasibility of low-cost technologies for producing such products using a cold compression process. It presents a series of guidelines directed towards those involved on the design of new products using this technology or, also, those involved on determining affordable production processes.

Keywords: wood waste, sustainable design, molded products

Introdução

Considerando uma produção anual de madeira serrada de cerca de 20 milhões de metros cúbicos e um rendimento médio no processamento primário da ordem de 40%, estima-se que sejam gerados 18 milhões de toneladas de resíduos. Estima-se que o consumo global de madeira por pessoa é de 0,60 m³ / ano. Este dado leva à conclusão de que há necessidade de se desenvolver novas formas de utilizar o potencial econômico da madeira pelos próximos anos, face o enorme crescimento populacional mundial, o qual deverá alcançar a cifra de 10 bilhões de pessoas em 2040-50. Uma vez atingida esta população o planeta precisaria de 2 bilhões de m³ de madeira/ano (ALVES, 2003), o que poderá ser ambientalmente inviável. Assim, para haver uma diversificação e um melhor aproveitamento da madeira e seus derivados é necessário desenvolver novas alternativas para industrialização de produtos que venham a suprir essa demanda.

A indústria do setor moveleiro vem utilizando como matéria-prima principal painéis de madeira, isto é, produtos planos. Via de regra, esses painéis são cortados em peças para confecção de componentes para a fabricação de móveis. O empenho pela melhoria do projeto e produção desses produtos tem incluído desde a automatização dos processos até a substituição da madeira por outros materiais. Contudo, a madeira tem se mantida competitiva em relação a outros materiais substitutos, dado suas características estéticas, sua resistência estrutural, manufaturabilidade e vantagens ambientais que oferece.

A indústria da madeira, de maneira geral, vem substituindo produtos de madeira sólida por produtos de madeira reconstituída obtida a partir de árvores de menor diâmetro e, também, de resíduos provenientes de outras indústrias de processamento mecânico. Tem-se utilizado também lâminas espessas coladas para fabricação de vigas, lâminas finas para o compensado, painéis com partículas e, mais recentemente, o uso das fibras na fabricação de painéis, MDF, HDF, etc. Com este novo portfólio de produtos e processos de produção o setor tem reduzido drasticamente o volume de desperdício (MARRA 1979).

Na medida em que ocorre a redução do tamanho dos elementos que constituem os produtos de madeira reconstituída aumenta a sua homogeneidade e isotropia. Ao nível da tecnologia das fibras, o novo cenário no setor da madeira vem permitindo uso de grande variedade de fibras de espécies diferentes. Quanto menor o tamanho das partículas, maior é a facilidade para se eliminar eventuais defeitos da madeira, ou redistribuí-los de maneira a reduzir seus efeitos nas propriedades do produto final (ROWELL 1998).

Mais recentemente, além de formar chapas planas, a madeira tem sido utilizada para fabricar produtos moldados (não planos). As fibras de madeira vêm sendo utilizadas como componentes para formar perfis complexos através da moldagem. A fibra tecida, com sua tecnologia possibilita a moldagem de inúmeras combinações geométricas. Aplicação dessa tecnologia depende do desenvolvimento de uma trama de fibras na qual manterá sua integridade física para formar um produto final. O “tecido de fibras lignocelulósicas” pode ser feito por entrelaçamento físico, agrupando-se as fibras com as resinas. Durante a formação da trama um adesivo pode ser aplicado na moldagem por termo-compressão. O adesivo pode ser termofixo ou termoplástico dependendo das características e propriedades requeridas no produto (ROWELL 1998).

Nesse contexto as possibilidades de utilização dos resíduos de madeira têm sido cada vez mais ampliadas, aproveitando as características de tamanho,

forma, densidades, e até cores das fibras da madeira. A comunidade científica deverá voltar forçosamente sua atenção para a re-manufatura de alta qualidade (BioCycle Staff, 2000).

As fibras das plantas são renováveis, disponíveis em vários locais, moldáveis, higroscópicas, recicláveis, versáteis, não abrasivas, porosas, visco-elásticas, facilmente disponíveis em muitas formas, biodegradáveis, combustíveis e reativas. A estrutura das mesmas constitui-se de um canal, laminar, com capa molecular em uma matriz integrada. As fibras usualmente apresentam boas propriedades de isolamento (acústico, elétrico e térmico). Além disto as propriedades das fibras de plantas podem também ser modificadas por tecnologias físicas e químicas, melhorando o desempenho do composto final.

Entre os problemas encontrados entre as fibras está a biodegradabilidade e a combustibilidade. Contudo, essas e outras propriedades das fibras de madeira oferecem também inúmeras vantagens no projeto e fabricação de produtos que não são facilmente obtidos por meios artificiais ou através de outros materiais. Devido a essas razões, hoje, produtos feitos de fibras de plantas estão recebendo maior atenção, sendo considerados recursos ambientalmente amigáveis.

Atualmente há maior consciência no que diz respeito ao problema do crescimento do lixo urbano. As atenções têm sido voltadas em especial para os recursos não-renováveis e que freqüentemente implicam em danos permanentes à natureza. Contudo, mesmo a geração de resíduos oriundos de materiais biodegradáveis, como as madeiras, já não são mais aceitáveis na sociedade atual (ALVES, 2003). Práticas existentes em colocar esses materiais no lixo não aproveitam o grande potencial de seu uso em compósitos de madeira.

Neste sentido, de maneira concomitante à busca de alternativas para o uso mais eficiente e eficaz de fibras e partículas de madeira em painéis e chapas, também vem se buscando alternativas para a produção de formas mais complexas e com potencial de aumentar o valor agregado percebido nos produtos à base de madeira. Algumas das tecnologias mais recentes permitem utilizar partículas e fibras de madeira proveniente de resíduos através de processos como: injeção, extrusão ou moldagem por compressão em formas complexas. O uso dessas tecnologias vem trazendo a possibilidade de utilizar a madeira em novas formas de design e projetos para aplicações antes não possíveis. É neste contexto que o presente trabalho pretende contribuir, no sentido de ampliar o impacto econômico do uso de resíduos de madeira através do estudo de sua aplicação no design de produtos moldados.

Contexto Histórico

Já por volta de 3000 a.C., há registros do uso de lâminas de madeira no Egito Antigo, obtidos com o uso de serra manual e colagem por adesivo à base de albumina (PENTEADO e SANTOS 2004). Essa técnica foi posteriormente aprimorada pelos assírios, babilônicos e finalmente pelos romanos.

Contudo, foi a partir do século XIX, período de grande industrialização na Europa, que a tecnologia de moldagem de madeira começou a se desenvolver de uma forma mais decisiva. É dessa época o surgimento da famosa fábrica de Michael Thonet em 1839 na Alemanha; seu trabalho influenciou diretamente vários outros fabricantes e até mesmo escolas, como a Bauhaus.

O trabalho visualmente leve e sem adornos desnecessários de Thonet, por exemplo, contrastava com a produção de outras fábricas, as quais utilizavam

basicamente madeira maciça e técnicas de marchetaria, torneamento, folheamento a ouro, pintura manual, entre outras. O trabalho de Thonet teve como grande inovação o arqueamento de madeira por vapor, o que possibilitou a ele produzir móveis populares e baratos, em evidente contraste com outras fábricas da época. Contudo, o movimento Art Nouveau também influenciou o trabalho de Thonet, e isso é bastante visível no desenho sinuoso de várias peças, principalmente nas cadeiras (FIELL, 2000).

Os países escandinavos são reconhecidamente o lugar onde houve a maior evolução da tecnologia e o design de produtos à base de madeira moldada. A qualidade dos móveis escandinavos feitos em madeira moldada se deve principalmente a dois fatores: a forte herança artesanal em mobiliário residencial, e a abundância de madeira (FIELL, 2000). Foram os primeiros a utilizar a moderna técnica de laminados de madeira, produzidos graças aos novos adesivos sintéticos (fenol e uréia-formaldeído) desenvolvidos nos anos 30. Entre os designers escandinavos destaca-se os dinamarqueses Tapio Wirkalla e Arne Jacobsen, este último, criador da atemporal cadeira Ant (Formiga). Também é relevante o trabalho do sueco Bruno Mathsson, com suas cadeiras de chapas de madeira laminada e dobradas, cânhamo trançado e assentos de faia.

A moldagem com partículas de madeira, foco do presente trabalho, é uma tecnologia mais recente, ainda em desenvolvimento e que oferece um grande potencial para o design de produtos inovadores. De fato, observa-se a disponibilidade cada vez maior de materiais compósitos que utilizam fibras naturais. Segundo Fuad Luke (2002), esses materiais apresentam aplicações variadas, que vão desde tapetes, chapas e paletes, até vigas estruturais e blocos usados na construção civil. As aplicações mais comuns são em assentos de cadeiras e poltronas, painéis internos e interior de portas de automóveis, aparelhos eletro-eletrônicos, entre outros (FUAD LUKE 2002).

Em comparação com componentes metálicos e plásticos as principais vantagens de produtos de madeira moldados, segundo Gardner, (2002) são o ciclo de prensagem curto, grande volume de produção e a qualidade da superfície resultante. A desvantagem usualmente é o alto capital inicial de investimento, trabalho intensivo, necessidade de operações secundárias (GARDNER, 2002).

O Processo de Moldagem por Compressão

Aspectos Gerais

O processo de moldagem por compressão de produtos moldados de madeira é realizado de acordo com o esquema básico apresentado na Figura 1, e no qual o molde metálico define a forma do produto por compressão e aquecimento. Este processo é um dos mais comuns na fabricação de produtos desta natureza, tendo sido utilizado de várias formas, com o objetivo de reduzir o uso e consumo de componentes metálicos e plásticos dos produtos e podem ser realizados com adesivos termoplásticos ou termofixos sendo que atualmente este último é o mais utilizado (GARDNER, 2002).



Figura 1 – Processo de Moldagem a Quente

O processo de prensagem consiste de compressão a frio, seguida de compressão a quente. A operação de prensagem é a tarefa mais crítica do processo de moldagem quando comparado com a dos painéis aglomerados. O tempo de prensagem deve ser suficiente porque o vapor gerado durante o processo deve ser liberado pelas bordas da chapa. Na fabricação dos produtos moldados, os moldes possuem planos inclinados, dificultando a liberação do vapor e umidade.

Os componentes básicos para a fabricação de produtos moldados de madeira são partículas de madeira e resina. Seu processo de produção é similar ao empregado para fabricação do aglomerado. A madeira é reduzida em pequenas partículas de acordo com o tamanho e as especificações do produto. Após a secagem, o material, é misturado com resina no teor desejado. Uma vez formado o colchão, o mesmo é depositado no molde para a fase de consolidação da moldagem.

Como nos painéis aglomerados, aditivos de vários tipos, tais como catalisador, agente repelente à água, fungicidas, e inseticidas podem ser adicionados durante o processo de fabricação para reunir certas características requeridas no produto final. Outros produtos como, retardantes de fogo e pigmentos coloridos podem ser empregados (GARDNER, 2002).

O processo de produção de produtos moldados de madeira apresenta variações tecnológicas, conforme pode ser visualizado na Figura 2. Estes processos, embora similares na preparação da matéria-prima, diferenciam-se na quantidade de resina e técnica de compressão (MOSLEMI, 1974). A etapa posterior à preparação das partículas segue um processo semelhante à fabricação de painéis de madeira reconstituída, ou seja, a secagem e a classificação das partículas.

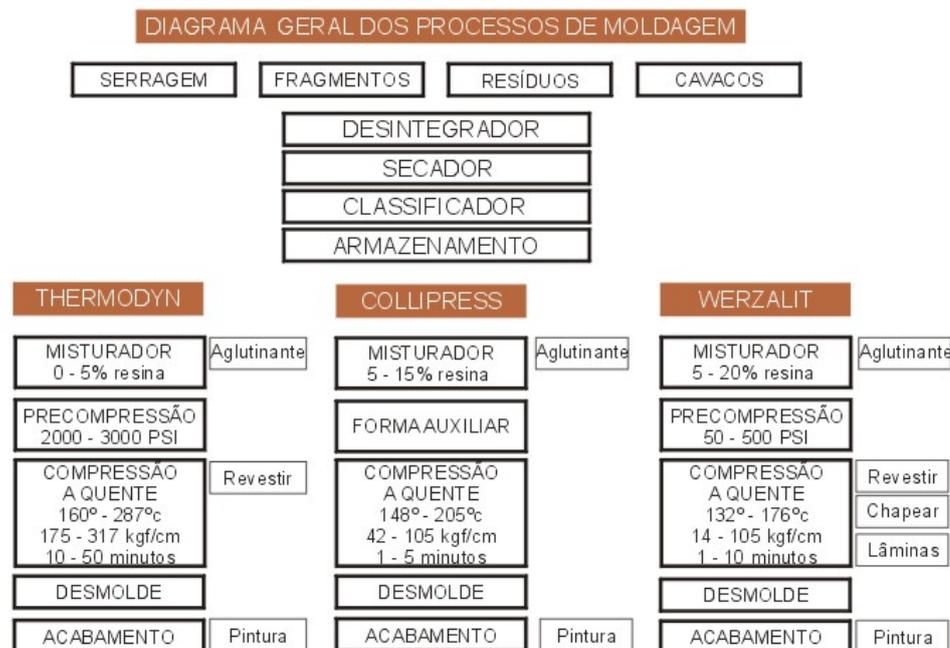


Figura 2 – Diagrama Geral dos Processos de Moldagem (Fonte: Pagel, 1967)

As diferenças entre os três processos estão basicamente nas quantidades de adesivo, com variações de 5% a 20% e na fase de prensagem. Os processos Thermodyn e Werzalit executam uma etapa de pré-compressão do material. O processo Collipress tem a acomodação do material em uma forma auxiliar, para depois se efetuar a compressão a quente. As condições de prensagem variam em função da temperatura, tempo de prensagem e pressão aplicada. As variações são em decorrência do tipo de adesivo, geometria das partículas e tipo de molde utilizados. No processo Werzalit os revestimentos são aplicados na própria prensagem.

A escolha do processo de moldagem depende também de outros fatores como forma, tamanho, resistência necessária do produto e aparência (MOSLEMI, 1974). As propriedades dos produtos moldados, tais como resistência mecânica, dureza, textura das superfícies e estabilidade dimensional, são muito importantes em produtos como pára-lamas e portas de automóveis. Estes aspectos podem ser melhoradas modificando a composição da mistura de resinas e os elementos de madeira como fibras e partículas (MARRA, 1992).

Espécies de Madeira para Moldagem

Várias espécies de madeira são utilizadas para fabricação de produtos moldados de madeira, incluindo as espécies de pinus, podendo ainda ser utilizada só uma espécie de forma homogênea ou combinada com outras. Com o uso de madeiras de baixa densidade, os produtos moldados apresentam alta resistência à flexão, quando comparados às madeiras de densidade mais alta.

Partículas de madeira de espécie de baixa densidade necessitam um maior volume de material, resultando em maior evaporação durante a prensagem do colchão. Uso de resina natural em madeiras de baixa massa específica, na maioria das vezes termoplástica “in natura”, pode causar um certo grau de dificuldade no processo. Isto acontece porque ocorre vazamento na superfície do produto durante a operação de prensagem a quente e isso tende a liberar a

resina, que conseqüentemente pode aderir no molde. Semelhante problema, só que em menor escala, ocorre com a maioria das madeiras mais densas.

A prensagem do colchão com madeiras de maior densidade, necessita de menor fator de compressão para sua consolidação. Por outro lado, nas espécies de baixa densidade se requer maior compressão, em função da altura do colchão (GARDNER, 2002).

Monitoramento da Temperatura na Moldagem

Temperaturas uniformes são necessárias em toda a extensão do molde a fim de assegurar a cura do adesivo durante o processo de moldagem do produto. Quando o molde é aquecido, a umidade do material a ser moldado causa a diminuição da temperatura da parede do molde. Esta queda pode resultar no atraso da cura e ampliar o ciclo de prensagem.

Para proceder a cura, deve-se manter alta a temperatura das paredes do molde. Isto pode resultar em degradação do colchão e ocorrer problemas no acabamento de algumas partes do produto. Portanto, é necessário controlar a temperatura do molde. Por outro lado, o aquecimento excessivo das paredes do molde pode resultar na cura prematura do adesivo gerando problemas de ligação entre as partículas (GARDNER, 2002).

Influência da Umidade na Moldagem

Na Tabela 1 são apresentadas as vantagens e desvantagens em relação à quantidade de umidade do material e sua influência no processo de moldagem, (GARDNER, 2002).

Tabela 1 – Influência da Umidade na Moldagem (Fonte: Gardner, 2002)

| | |
|--|--|
| Alta umidade 1. Menor tempo de fechamento da prensa. 2. Melhor controle de densidade. 3. Melhor transferência de calor. 4. Plasticização da madeira | Alta umidade 1. Menor densidade do produto. 2. Baixa ligação interna. 3. Maior possibilidade de delaminação. |
| Baixa umidade 1. Melhores propriedades. 2. Menor tempo de prensagem. 3. Menos problemas de ligação interna. 4. Maior uniformidade no perfil da Densidade. | Baixa umidade 1. Alta absorção de água. 2. Faces mais ásperas. 3. Diminuição na plasticização da madeira. 4. Transferência de calor mais lenta. 5. Problemas com adesão. |

Um aspecto importante no desenho dos moldes para moldagem de peças, produzidas com partículas de madeira aglomeradas, são as aberturas para liberação do vapor, durante a prensagem. As perfurações devem estar localizadas em pontos estratégicos para evitar a concentração de vapor, e umidade, e como conseqüência resultam em delaminação das camadas internas do produto (MOSLEMI, 1974).

Determinantes do Projeto dos Moldes

Embora tecnicamente não se tenha limite para o desenvolvimento do design em madeiras, as possibilidades de produtos moldados se ampliam. Porém, são necessários alguns cuidados no planejamento das operações para se obter sucesso na fabricação desses produtos, tais como:

- a) O produto moldado deve ser de baixo custo.
- b) O volume de produção deve ter quantidade necessária para amortizar o custo de equipamentos e moldes.

Os moldes são usualmente feitos de aço e formados a partir da combinação de duas partes: macho e fêmea. A fêmea é representada pela “cavidade”, e o macho, pela parte “saliente”. A parte “oca” do molde, responsável pela forma e acabamento da superfície externa do produto, pode também receber o nome de “matriz”. A parte que origina a superfície interna da peça é chamada de “macho” (GUEDES, 1986).

Os fatores mais importantes para o desenvolvimento de produtos moldados por compressão são:

- Fatores inerentes à geometria do molde: Espessura da parede, localização e direção da pressão no molde, prensagem unidirecional ou multidirecional na moldagem.
- Fatores inerentes ao Processo de Produção: Aquecimento do molde, velocidade de fechamento da prensa, pressão específica (kgf/cm^2), tempo de aquecimento, tempo de cura, tempo de desmoldagem (GARDNER, 2002).

O design de um produto sem ângulos positivos (abertos), pode dificultar o desmolde devido à união mecânica produzida pelo atrito da superfície. Formas com defeitos podem causar problemas na produção, tais como: limpeza entre molde e o produto, superfície áspera transferida para o produto, o que danifica aparência da superfície (MOSLEMI, 1974). Ângulos de desmoldagem, ângulos de saída ou ângulos de extração são inclinações dadas às paredes das cavidades e aos contornos dos machos dos moldes, com o objetivo de facilitar a remoção das peças do interior do mesmo (GUEDES, 1986).

A qualidade do produto moldado, depende da redução ou eliminação dos problemas associados com o desmolde. As paredes das peças devem, sempre que possível, ser uniformes e da mesma espessura. Quando houver necessidade de espessuras diferentes, nas várias seções das peças, a transição de uma espessura para outra deve, sempre que possível, ser gradual. Os cantos da peça, com exceção dos formados no plano de fechamento do molde, devem ser arredondadas com raios amplos, com valores entre 0,2 e 0,5 vez a espessura das paredes do produto (GUEDES, 1986).

Para não apresentar defeitos nas bordas das peças moldadas, podem ser criados filetes ao longo de todo o contorno externo destas bordas livres, o que além de facilitar a construção do molde e evitar dificuldades no processo, aumentam a resistência mecânica e dão um melhor acabamento no produto (GUEDES, 1986).

Método de Pesquisa

A metodologia geral adotada nesta pesquisa pode ser visualizada no esquema conceitual apresentado na Figura 3 onde é mostrado as três fases realizadas: Fase 1 (preliminar); Fase 2. principal (ensaios exploratórios); Fase 3 (moldagens).

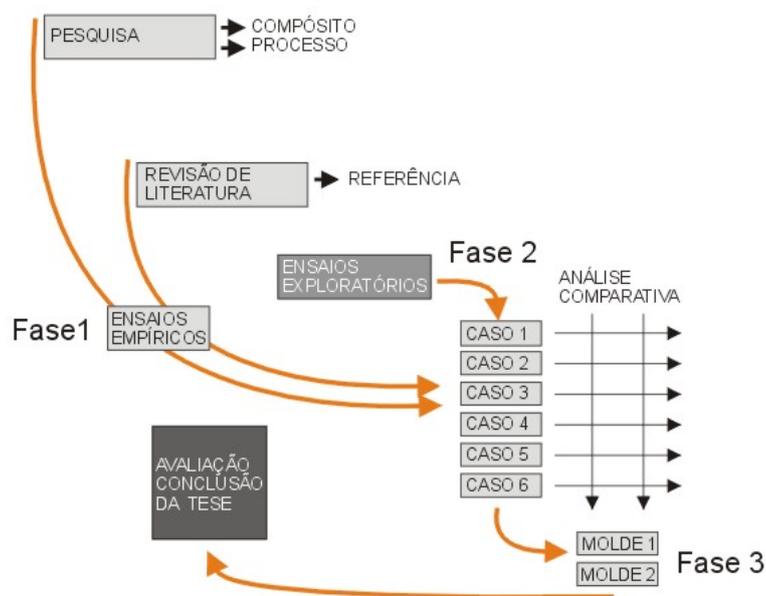


Figura 3 – Esquema conceitual do desenvolvimento da pesquisa

A Fase 1, foco do presente artigo, consistiu da realização de uma série de *quasi*-experimentos com o objetivo de ampliar o entendimento sobre os parâmetros do processo de fabricação de produtos moldados e seu comportamento em situação real, em termos de composição do material e configuração de peças e forma dos moldes. Os parâmetros do processo de fabricação definidos para esta fase foram densidade; origem da madeira, forma granulométricas das partículas e o tipo de adesivo.

Neste estudo foram utilizadas partículas de madeira de pinus spp. procedentes da empresa Inbrasfama Ind. Brasileira de Farinha de Madeira Ltda., localizada em São José dos Pinhais na região metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. O material conhecido como “farinha de madeira” com granulometria controlada é produzido a partir de resíduos como serragens, cepilhos e aparas de madeira com as seguintes características: percentagem de retenção nas malhas MESH de 30=15,2%, 40=55,6%, 50=18,6%, 60=3,8%, 70=5,8%, 80=0,6%, 100=0,4%; densidade = 0,24 g/cm³. O material é caracterizado comercialmente como um produto padronizado e codificado sob o n° 2042.

Foram utilizados os seguintes tipos de resinas: Melamina-Uréia-Formol (MUF), contendo 65-67% de sólidos resinosos; Uréia Formol (UF), para prensagem a frio ou a quente com baixa emissão de formol, contendo 64-66% de sólidos resinosos; Poliacetato de Vinila (PVAc), contendo 49-51% de sólidos. As resinas foram doadas pela empresa Borden Química, produzida na planta da cidade industrial de Curitiba.

O tecido comercial de sisal natural formado por um fio de aproximadamente 1mm em trama de 5mm x 5mm, foi utilizado na formação do colchão e denominado, nesta pesquisa, de “armado”.

Neste artigo é reportado os resultados obtidos com moldes de cimento e areia, dado que o foco do mesmo é a análise da configurações alternativas para a produção em pequena escala de produtos moldados em madeira (vide Figura 4). A seleção deste material levou em consideração sua disponibilidade em praticamente todo o território nacional.



Figura 4 – Moldes em Cimento e Areia

No mesmo estudo foi utilizado também molde em alumínio tipo naval usinado por prototipagem rápida, utilizando dois tipos de tratamento superficial, sendo a face do molde macho polida e a face do molde fêmea texturizada, para avaliação do acabamento superficial da peça moldada. Como este molde mostrou-se significativamente mais caro que o molde de areia, embora mais barato que o processo convencional de fabricação de moldes, não é reportado aqui os resultados obtidos no laboratório.

Resultados

Moldagem 1

Foi realizada a moldagem do produto utilizando partículas de madeira de pínus spp. encoladas por aspensão com adesivo de contato, em quantidade em torno de 10% do peso das partículas em condições ambientais. A moldagem foi realizada sem controle da densidade e compressão a frio, em função do material utilizado na fabricação do molde (cimento). A desmoldagem foi feita após meia hora, e, em seguida, foi submetida à secagem. Como resultado deste experimento, obteve-se uma forma razoavelmente próxima do produto desejado, porém sem acabamento superficial satisfatório (vide Figura 5).



Figura 5 – Moldagem com Fibras de Pinus e Adesivo de Contato

Moldagem 2

Repetiu-se as mesmas condições empregadas anteriormente, mas com a diferença no tempo de desmoldagem, que foi de 2 horas. Com característica próxima a da moldagem anterior, neste processo de moldagem foi modificada a maneira de aplicação do adesivo. O produto obtido na moldagem é apresentado na Figura 6 a seguir.



Figura 6 – Moldagem com Resíduos de Pinus com desmoldagem em 2 horas

Moldagem 3

Realizou-se aqui a moldagem do produto utilizando resíduos de madeira de araucária, obtidos de operações no torno e serra circular. Foi utilizado adesivo de contato em quantidade em torno de 10% (diluído em mais 20% de água) em relação ao peso das fibras. Na moldagem não houve controle da densidade e da compressão a frio, em função das características do molde, por ser de cimento. A figura 7 a seguir apresenta o resultado obtido.



Figura 7 – Moldagem de Peças com Resíduos Araucária (10% de PVA)

Por se tratar de um molde de cimento, houve a necessidade da desmoldagem antes da cura total do adesivo, o que provocou avarias na peça. A cura do produto foi completada em temperatura ambiente.

Moldagem 4

O resultado deste experimento, foi o produto moldado com resíduos de madeira de araucária obtido de operações no torno e serra circular em mistura com adesivo PVA em quantidade de 25% em relação ao peso das partículas (figura 8). A moldagem foi realizada sem controle da densidade e compressão a frio. A secagem e consolidação do produto foram realizadas após a retirada do molde em temperatura ambiente.



Figura 8 – Moldagem com Resíduos de Araucária (25% de PVA)

Moldagem 5

Nesta moldagem buscou-se a obtenção de produto com resíduos de madeira de “cambará” provindos de operações no torno e serra circular, com adesivo PVA em quantidade abaixo de 25% em relação ao peso das partículas. Também neste experimento, a desmoldagem foi realizada antes da cura completa. A secagem final foi feita em temperatura ambiente (figura 9).

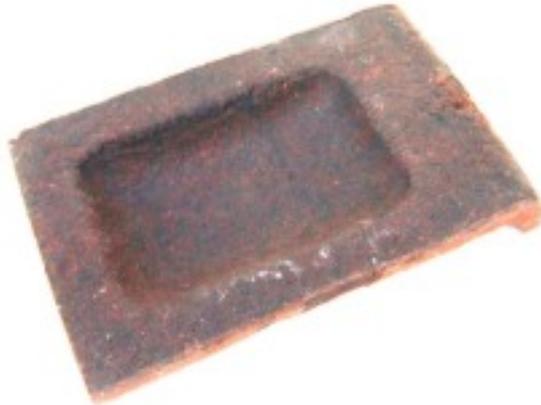


Figura 9 – Moldagem com Resíduos de Cambará

Análise

Aponta-se as seguintes recomendações quanto à utilização destes resultados no design de novos produtos:

- *Resíduos de Pinus com desmoldagem em 1/2 hora:* o acabamento apresenta deficiência em função do tamanho das partículas e da baixa compressão, o que também conferiu baixa resistência ao produto piloto obtido. A adoção deste processo de moldagem é, portanto, pertinente para produtos que venham a exigir alto volume de produção e onde não há exigência estrutural significativa e não há restrições quanto à adoção de textura bastante rústica;
 - *Exemplos de produtos possíveis:* cachepôs, porta-retratos, molduras
- *Resíduos de Pinus com desmoldagem em 2 horas:* o produto final apresentou forma semelhante à moldagem anterior, sem um acabamento superficial homogêneo em função do tamanho das partículas e da relativa pouca compactação realizada. Obteve, no entanto, melhor adesão entre as partículas e, por consequência, menor índice de vazios na constituição interna do produto. Sua adoção é particularmente relevante para aqueles casos onde não há exigência de resistência estrutural mas necessita-se de densidade maior;
 - *Exemplos de produtos possíveis:* revestimentos, componente interno de produtos que necessitam isolamento acústico

- Resíduos de Araucária com 10% de PVA: O produto apresentou um melhor acabamento superficial em relação à Moldagem 01 e 02. Contudo, assim como nas moldagens anteriores, apresentou baixa resistência mecânica;
 - *Exemplos de produtos possíveis:* cestas para alimentos, embalagens de produtos leves
- Resíduos de Araucária com 25% de PVA: obteve-se um bom acabamento superficial em função da geometria das partículas. A forma do produto revelou as características do molde. Como o adesivo PVA é bastante utilizado no setor mobiliário, e por empregar processo de moldagem simples, este produto moldado pode representar uma grande oportunidade no aproveitamento de resíduos de serraria;
 - *Exemplos de produtos possíveis:* embalagens, vasos
- Resíduos de Cambará: este estudo apresentou resultados semelhantes aos obtidos na Moldagem 4. Contudo, o produto foi influenciado pela coloração mais escura da madeira utilizada.
 - *Exemplos de produtos possíveis:* mobiliário, brinquedos

De maneira geral o uso de partículas com maiores granulometrias resultou em problemas de conformabilidade do produto moldado, com aparência de superfície áspera e irregular com o molde de cimento e areia. Os painéis fabricados com PVAc apresentaram baixos valores de propriedades mecânicas, devido a expansão após a prensagem. Considera-se que todos os tipos de moldagem aqui estudados apresentam potencial para utilização para a produção de produtos comerciais, seja através de artesãos individuais seja através de cooperativas.

Conclusões

O design de produtos a partir de resíduos de madeira utilizando moldes de baixo custo como aqueles feitos a partir de cimento e areia mostram-se claramente como uma opção técnica e economicamente viável, o que é relevante para comunidades em busca de geração de emprego e renda. O potencial de tal aplicação no Brasil é grande dado à variedade de resíduos de madeira passíveis de aproveitamento comercial.

Ressalta-se que o nível de adesivo deve ser definido em função da qualidade exigida no produto final, por ser uma variável mais significativa quanto a resistência e custos. Para futuros trabalhos sobre produtos moldados recomenda-se a utilização de termopares para medição da temperatura no centro do colchão visando otimização do tempo de prensagem e cura da resina.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro ao projeto provido pelo CNPq e FINEP.

Biografia e Contato dos Autores

Data de remessa do artigo: 21 de setembro de 2007

Dalton Luiz Razera: Professor do Departamento de Design da UFPR, com graduação em Design pela Universidade Federal do Paraná, mestrado em

Engenharia de Produção da UFSC e doutorado em Engenharia Florestal da UFPR. Atualmente é coordenador do Curso de Design da UFPR, professor colaborador do Mestrado em Design da UFPR e pesquisador junto ao Núcleo de Design & Sustentabilidade da UFPR. Contato: e-mail: asantos@ufpr.br telefone: 041 3360 5313, Endereço: Rua General Carneiro, 460, Edifício Dom Pedro I, sala 717, CEP 80060-150, Centro, Curitiba

Aguinaldo dos Santos: Professor do Departamento de Design da UFPR, com graduação em Engenharia Civil pela UFPR, Mestrado em Engenharia Civil (UFRGS) e Doutorado em Gestão de Operações pela University of Salford, Inglaterra. Bolsista Produtividade do CNPq na área do Design. Professor do Mestrado em Construção Civil e Mestrado em Design da UFPR, sendo que neste último atua como vice-coordenador. Coordena o Núcleo de Design & Sustentabilidade da UFPR desde 2003 e, também, os convênios com a Köln International School of Design e o Politécnico de Milão. Contato: e-mail: daltonrazera@ufpr.br telefone: 041 3360 5313, Endereço: Rua General Carneiro, 460, Edifício Dom Pedro I, sala 717, CEP 80060-150, Centro, Curitiba

Referências

- ALVES, Marcus Vinicius da Silva. Novas tecnologias para utilização e aproveitamento de resíduos. In: 1º Congresso Brasileiro de Industrialização da Madeira e Produtos de Base Florestal-, Curitiba. IBAMA, p. 10 – 30. CD-ROM. 2003.
- BioCycle Staff. Wood Recycling: How to Process Materials for Profitable Markets. Pennsylvania: The J.G. Press, Inc. 2000.
- FIELD, Charlotte & Peter. Design do Século XX. Köln: Taschen, 2000.
- FIELD, Charlotte; FIEL, Peter. Design Industrial A-Z. Taschen, 2001.
- FUAD LUKE, Alastair. Manual de diseño ecológico. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.
- GARDNER, D. J. Compression Molding Wood-Polymer Hybrid Composites. 2002.
- GUEDES, B. FILKANSKAS, M. O Plástico, Livros Érica Ltda. São Paulo, 1986.
- MARRA, A. A. Technology of wood bonding: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- MARRA, G. Overview of wood as a material. J. Educational Modules for Materials Science and Engineering. 1(4):699-710, 1979.
- MOSLEMI, A.A. Particleboard. Carbondale and Edwardsville: Southern Illinois University Press, 1974.
- PENTEADO, T. S. e SANTOS, L.G. Linha de móveis em eucalipto laminado curvado. Trabalho de Graduação apresentado ao curso de Design de Produto. Curitiba: UFPR, 2003
- ROWELL, R. M. Advances in the chemistry series: The chemistry of solid wood. Washington D.C: 1984. American chemical society. 614p. 1984.

- ROWELL, R. M. B. A. Cleary, J. S. Rowell, C. Clemons, and R. A. Younf, “ Results of Chemical Modification of Lignocellulosic Fiber for Use in Composites “, in *Wood Fiber/Polymer Composites: Fundamental Concepts, Process, and Material Options*, Forest Product Society, Madison, 1993.
- ROWELL, R., A. R. Sanadi, D. F. Caulfield, and R. E. Jacobson, “ Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities “, in *Lignocellulosic- Plastics Composites*, A. L. Leão, F. X. Carvalho, and E. Frollini (eds.), USP and UNESP, Brazil, 1997.
- ROWELL, R.M. The state of art and future development of bio-based composite science and technology towards the 21st century. *Proceedings: The fourth Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium*, Y.S. Hadi, ed., Bogor, Indonesia. 1998.
- SAVASTANO JR., H. e PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos e fibras vegetais para fins de material de construção. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.1, p.103-110. Campina Grande: DEAg/UFPB, 2000.