

Obtenção de um compósito a partir da biomassa residual e industrial utilizando um reator de contracorrente

Obtaining composite material from residual and industrial biomass using a counter-flow reactor

Felix Martin Carbajal Gamarra

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.
Graduação em Engenharia de Energia, Departamento de Engenharia de Energia da Universidade de Brasília – UnB.
Brasília, DF – Brasil.
fcarbajal@unb.br

Breno Prince Marcondes Ribeiro

Graduação em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Campus Gama – UnB.
Brasília, DF – Brasil.
brenoprincemribeiro@gmail.com

Marielle de Souza Santos

Graduação em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Campus Gama – UnB.
Brasília, DF – Brasil.
mariellessunb@gmail.com

Isabela Cristina Curado

Graduação em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Campus Gama – UnB.
Brasília, DF – Brasil.
isabelaccurado@gmail.com

Rayssa Mayra Figueirra de Alencar

Graduação em Engenharia de Energia, Universidade de Brasília, Campus Gama – UnB.
Brasília, DF – Brasil.
falencar.mayra@gmail.com

Resumo

A maior preocupação e desafio dos pesquisadores é encontrar alternativas sustentáveis para o reuso da biomassa. Diante do exposto, neste trabalho, objetivou-se gerar um novo material compactado com mínimo defeito em sua estrutura anatômica e excelente interação partícula-resina, sendo o material formado de um compósito tipo painel MDF a partir da biomassa vegetal sólida gerada na indústria. Para obtenção do painel, utilizou-se blenda de biomassa vegetal de madeira de eucalipto (*Eucalyptus* sp.), aspargo (*Asparagus officinalis*) bagaço da cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) e resinas a base de ureia-formaldeído (UF). Determinaram-se algumas propriedades físico-mecânicas dos painéis MDF, tais como o módulo de ruptura, de tração perpendicular e de elasticidade, o teor de umidade, a densidade e a condutividade térmica os quais foram avaliados pelas normas EN e ASTM. Os resultados obtidos foram compatíveis e, em alguns casos, superiores aos dados encontrados na literatura e aos padrões comerciais. Esta pesquisa mostrou o potencial reuso sustentável da biomassa para produzir painéis úteis.

Palavras-chave: Biomassa industrial. Biomassa vegetal. MDF. Propriedades físico-mecânicas. Resina ureia formaldeído.

Abstract

The major preoccupation and challenge for researchers is finding sustainable alternatives for the reuse of biomass. In view of this, the goal of this research was to produce a new compact material with minimum defects in its anatomic structure and excellent particle-resin interaction. The material obtained is a type of MDF panel composite made from industrial solid vegetable biomass. The MDF panel was produced using a vegetable biomass blend of Eucalyptus wood (*Eucalyptus* sp.), asparagus (*Asparagus officinalis*), sugar-cane (*Saccharum officinarum*), and synthetic resin from urea-formaldehyde (UF). Physical-mechanical properties of the MDF, including modulus of rupture, strength, modulus of elasticity, density, thermal conductivity and perpendicular traction, were evaluated following EN and ASTM norms. The results obtained were consistent with and, in some cases, superior to those found in the literature. Thus, this research demonstrated the potential sustainable reuse of vegetable biomass to produce useful panels.

Key words: Formaldehyde-urea resin. Industrial biomass (waste). MDF. Physical-mechanical properties. Vegetable biomass.

1 Introdução

Com o crescimento da industrialização e a expansão demográfica, observou-se um aumento considerável na produção de resíduos sólidos (ROCCA; LACOVONE; BARROTI, 1993). O tratamento e a disposição final dos resíduos sólidos constituem, muitas vezes, problemas complexos para se solucionar. É importante mencionar que o termo resíduo deve ser diferenciado da expressão biomassa vegetal ou da animal. A biomassa deixa de ser vista como um resíduo de pouca utilidade, quando este é reusado e transformado em forma sustentável, viável e capaz de ser um produto útil. Apesar de a biomassa derivar de restos vegetais e animais, ela contém importantes compostos químicos que podem ser recuperados e incorporados como componentes de novos produtos úteis e, dessa forma, aliviar o impacto ambiental. A demanda por recuperar importantes componentes da biomassa, tem sido incentivada pelo crescimento industrial, tendo como resultado o desflorestamento agressivo e um aumento na concentração do dióxido de carbono global (ADGER; BROWN, 1994).

Fontes renováveis são procuradas como possíveis alternativas para uso industrial (CHARMAHALI; MIRBAGHERI; TAJVIDI, 2010). Atualmente, países em desenvolvimento, como o Brasil, Índia e Rússia, têm altos índices de desperdício de biomassa e pouco reuso desses materiais. Nesse contexto, a biomassa proveniente da exploração de florestas, resíduos de processamento e reprocessamento da madeira, evidenciaram a possibilidade de produção de chapas de fibra e, em especial, da produção de painéis do tipo *Medium-density fiberboard* – MDF (INÁCIO; ROCCO, 2004).

O MDF, nos dias de hoje, é conhecido pela possibilidade de substituir a madeira e ser usado em diversas aplicações, em razão de sua homogeneidade, versatilidade, facilidade de usinagem,

resistência ao ataque de microrganismos, assim como, pelos benefícios econômicos resultantes da redução no uso de tintas, tingidores, lacas e vernizes e no consumo de adesivos (INÁCIO; ROCCO, 2004).

Os painéis MDF são definidos pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e Maloney, em 1996, e pela *National Particleboard Association*, em 1973, como painéis fabricados a seco, feitos de fibras ligno-celulósicas combinadas com resinas sintéticas ou outro agente ligante, compactados a uma densidade entre 0,50 e 0,80g/cm³ por prensagem a quente, num processo em que a colagem entre as fibras é resultado do adesivo adicionado. A introdução de determinados aditivos durante a manufatura pode melhorar a estabilidade dimensional, a resistência ao fogo e a impermeabilidade (NATIONAL PARTICLEBOARD ASSOCIATION, 1995).

É possível obter painéis tipo MDF com características especiais, tais como resistência a ambientes úmidos e ao fogo, como resultado da escolha correta do tipo e teor de resina e da adição de aditivos, dependendo das exigências associadas à utilização (BAUER, 1995). De acordo com Mendes, Albuquerque e Iwakiri (2000), todos os painéis obtidos a partir de derivados de madeira e a matéria-prima e a resina representam mais de 50% do custo do produto final. Segundo cálculo realizado pelo Instituto de desenvolvimento industrial de Minas Gerais – INDI, em 1996, a resina e, em seguida, a madeira, são os dois maiores componentes no custo total de produção de painéis MDF, representando 23,3% e 15,9%, respectivamente, do custo total. As pesquisas realizadas visam minimizar essa relação de custo sem prejudicar as propriedades desejadas do produto. O crescimento médio do consumo desses painéis entre os anos de 1980 e 1994 foi 15% ao ano, sendo previsto um crescimento em torno de 8% ao ano até 2005 (MACEDO; ROQUE, 1997; NEVES, 1998).



Diante do exposto, neste trabalho, teve-se como objetivo desenvolver um novo compósito, utilizando a biomassa industrial e agroindustrial. A justificativa deste estudo é reusar a biomassa vegetal excedente e produzir um material sólido, compacto e com o menor número de defeitos provenientes da anatomia dos vegetais. Foi utilizada a palha de aspargo, o bagaço da cana de açúcar, madeira de serragem e resinas a base de ureia-formaldeído (UF). Uma chapa composta de partículas dos resíduos já mencionados foi gerada, de acordo com as normas de padrão comercial e internacional. Esse tipo de blenda é cada vez mais usado na indústria de painéis para diversos fins. A interação partícula-resina foi realizada em um reator em contracorrente a moderadas pressões, as propriedades físico-mecânicas, tais como densidade, condutividade térmica, módulo de ruptura (MOR) foram determinadas.

2 Materiais e métodos

2.1 Produção do painel tipo MDF

Para o processo de obtenção dos painéis MDF, foram utilizados lotes de fibras de um quilo, com teor de umidade em torno de 5%. De acordo com o Forest Products Laboratory (2010), os resíduos vegetais tiveram um tratamento prévio antes do processo. O material passou por uma fragmentação, classificação e desfibramento, sendo mantido por 70 horas, em estufa a 60 °C, até atingir o teor de umidade desejada. Após a pesagem da amostra, as partículas das fibras entram em contato com a resina em um reator tipo cilindro-horizontal e em rotação. As entradas dos fluxos são em contracorrente a moderadas pressões. Essa fase é considerada a mais importante e crítica do processo, porque nela forma-se a união da partícula com a resina (massa). A massa formada é depositada em camadas, em um molde padrão

ou caixa formadora. Essa caixa foi apoiada sobre uma chapa metálica, e o material foi compactado por uma prensa hidráulica até atingir o volume do colchão desejado. A espessura da chapa foi determinada por limitadores de espessura de 1 cm para este trabalho. Terminada a prensagem, as chapas foram resfriadas na temperatura ambiente e, posteriormente, foram retirados os corpos de prova para os ensaios, os quais foram condicionados em câmara climatizada, à temperatura de 20 °C e umidade relativa de 65% até atingirem peso constante. Em seguida, foram destinados à realização dos ensaios físicos e mecânicos.

2.2 Propriedades físicas

O índice de umidade, a gravidade específica e o inchamento em espessura foram determinados utilizando o método das normas europeias (*European Norm*) – EN 317, EN 322 e EN 323 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993b, d, e), respectivamente. O teste de condutividade térmica *Transistor Standard* – TS 388 foi determinado pelo padrão, de acordo com Neves et al. (1998), e a adesão interna também foi determinada.

2.3 Propriedades mecânicas

O módulo de elasticidade e o de tração perpendicular foram determinados utilizando-se normas EN 310 e EN 319 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993a, c).

2.4 Preparação da resina

Na preparação da resina final, é importante considerar diversos mecanismos e reações intermediárias durante a reação da formação da resina desejada. No fenômeno da adesão das moléculas, foram observados dois mecanismos: a interdifusão das moléculas e as ligações químicas primárias. Nesse contexto, prepararam-se os adesivos modificando as formulações, de acordo com as infor-

mações obtidas de Gillah, Irle e Amartei (2000), Forest Products Laboratory (2010), Kavvouras (1997), Sundin (1995), Pizzi (1994), Maloney (1989), Wilson e Kraemer (1976). As resinas obtidas e empregadas durante a formação dos painéis MDF foram a resina UF e a fenólica AB-500. Ambas sintetizadas no laboratório. Também, deve-se destacar que as resinas obtidas neste trabalho foram preparadas visando à interação da molécula da resina com a partícula do aglomerado num reator com fluxo em contracorrente. Finalmente, na resina AB-500 foi experimentado o sulfato de amônia como catalisador para acelerar a cura da resina. As composições das formulações são mostradas na Tabela 1, na sequência.

Finalmente, foi utilizada a análise de variância (ANOVA), com $\alpha=0,5$. O teste de Duncan, com múltiplos *ranges*, foi aplicado para calcular as diferenças significativas dos parâmetros físico-mecânico das amostras dos painéis obtidos do processo.

3 Resultados e discussões

A Tabela 1 mostra a composição das resinas epóxi obtidas em laboratório. Foram gerados dois tipos de resina sintética – a AB-500 e a ureia formaldeído (UF) –, sendo utilizada água como solvente em ambas as resinas. Foi necessário aumentar a proporção molar entre a ureia em relação ao formaldeído para a resina UF. Optou-se por esse procedimento, embora tenha aumentado os custos, porque se observou que aumentando a relação molar melhoram-se algumas das propriedades físicas do painel MDF em termos de resistência. Além disso, foi necessário incrementar a relação molar ureia/formaldeído, para garantir uma qualidade homogênea do adesivo e uma boa difusão resina-partícula. Também, é preciso mencionar que foi possível gerar uma resina de boa qualidade ao verificar-se que houve uma ótima interdifusão da

molécula com a partícula da biomassa. Muitas das observações encontradas na formulação da resina UF também foram observadas por algumas pesquisas (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010; SUNDIN, 1995; PIZZI, 1994). A Tabela 1 também mostra a resina sintética denominada AB-500, que foi formulada a partir de formaldeído, acrescentando melanina. Finalmente, essa resina foi gerada visando a aumentar no painel a resistência à umidade e obter melhor superfície de contato com óleos e gorduras.

Tabela 1: Formulação das resinas sintetizadas

Resina	AB-500 (60%)		UF(53% ^(a))	
Fórmula	Melanina	2180	Ureia	12 113
	38% Formaldeído ^(b)	2530	38% Formaldeído ^(b)	19 600

(a) Conteúdo de sólidos (unidade: g)

(b) Solução de Formaldeído.

As Tabelas 2 e 3 apresentam as médias dos resultados dos ensaios físico-mecânicos dos painéis MDF, obtidos em laboratório, comparadas com aos valores comerciais.

Os resultados dos painéis tipo MDF com diferentes espessuras e diferentes resinas, foram com-

Tabela 2: Médias de valores das propriedades do MDF fabricado com a resina UF comparadas com os valores comerciais do MDF

Ensaio	6 mm	8 mm	Valor comercial
Massa específica (g/cm ³)	636	655	600 – 800
Umidade (%)	4,30	4,60	4 – 11
Inchamento em espessura (%)	12	11	5-18
Módulo de elasticidade (Mpa)	2 410	2 425	1 700 – 3 000
Módulo de força de dobra (MPa)	23,70	24,50	13 –30
Condutividade térmica (kcal/mh°C)	0,09	0,10	0,09 – 0,1
Adesão interna (MPa)	0,65	0,72	0,6 – 0,85

Tabela 3: Médias de valores das propriedades do MDF fabricado com a resina AB-500 comparadas com os valores comerciais do MDF

Ensaio	6 mm	8 mm	Valor comercial
Massa específica (g/cm ³)	670	695	600 - 800
Umidade (%)	4,5	4,3	4 - 11
Inchamento em espessura (%)	14	13	5-18
Módulo de elasticidade (Mpa)	2 575	2 680	1 700 - 3 000
Módulo de força de dobra (MPa)	23,7	24,8	13 -30
Condutividade Térmica (kcal/mh°C)	0,10	0,10	0,09 - 0,1
Adesão interna (MPa)	0,68	0,75	0,6 - 0,85

parados com os valores comerciais e padrões *standard*. Os ensaios físicos, nas Tabelas 2 e 3, mostram que as densidades, em todas as situações apresentaram valores superiores aos do MDF comercial. Os ensaios da umidade, para todos os painéis, apresentam teores de umidade nos limites admitidos dos painéis comerciais, cujo valor é 11%.

No ensaio de inchamento em espessura, todos os valores estiveram abaixo do valor comercial, mas foram superiores aos dos padrões requeridos, segundo a EN *standard*. No ensaio, os corpos de provas foram submetidos a duas horas de imersão na água. Quanto à condutividade térmica, todos os valores ficaram entre 0,09 e 0,1 kcal/mh°C. Esses resultados atingiram os valores comerciais.

Os ensaios mecânicos mostraram que a flexão estática para determinação do módulo de elasticidade (MOE) e do módulo de ruptura (MOR), segundo a EN 310, pode-se dizer que, em todas as situações, somente atingiu o MOE apresentado pelo MDF comercial. Para os painéis obtidos com a resina AB-500, esses ensaios apresentaram valores similares aos padrões comerciais no módulo de elasticidade e também mostraram um melhor

comportamento, quando comparado com o painel produzido com a resina UF.

Também o módulo de ruptura para os painéis obtidos com a resina AB-500 atingiu os padrões comerciais e tiveram um valor similar ao painel gerado com a resina UF como mostra a comparação entre as Tabelas 2 e 3. No ensaio de adesão interna, foi obtido um valor de 0,61 MPa. Valor recomendado para usar esse tipo de material em ambientes internos.

No geral, os painéis obtidos apresentaram valores médios similares aos padrões comerciais. Não houve diferenças significativas ($p < 0,1$) encontradas entre os valores dos três parâmetros de maior importância que exigem os padrões para os painéis MDF (gravidade específica, módulo de elasticidade e o de ruptura ou força de dobra) ao longo do processo. Entretanto, os painéis produzidos com a resina AB-500 teve valores ligeiramente superiores em comparação aos feitos com resina UF. Também não houve diferenças significativas entre painéis MDF, fabricados com fibras de madeira de espécies de reflorestamento, eucalipto e pinus (HIZIROGLU; JARUSOMBUTI; FUEANGVIVAT, 2004; INÁCIO; ROCCO, 2002, 2004; NEMLI; ÇOLAKOGLU, 2005), e entre outras espécies, com respeito às propriedades físico-mecânicas obtidas.

4 Conclusões

Neste estudo, foram estudadas as propriedades físico-mecânicas dos painéis formados por blendas de fibra de madeira, de aspargo e de bagaço de cana. Os painéis apresentaram resultados satisfatórios em relação a três importantes propriedades do MDF, tais como gravidade específica, módulo de elasticidade e de ruptura ou força de dobra. Em algumas situações isoladas, os resultados de caracterização mostraram-se um

pouco abaixo dos valores comerciais, porém não mostrando diferenças significativas. Esta pesquisa é importante por apresentar dados promissórios para entendimento das interações partículas-resina. Cabe mencionar que a presença de água nas resinas é um fator limitante diminuindo a eficiência da resina. Destaca-se também que este estudo mostrou o potencial reuso da biomassa vegetal sustentável para produzir painéis úteis para diversos usos.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa Tapesa, pela colaboração nesta pesquisa, e à Universidade de Brasília (UnB), pelo apoio financeiro e com os equipamentos utilizados durante a realização deste estudo.

Referências

ADGER, W.; BROWN, K. *Land use and the cause of global warming*. Chichester, UK: Wiley, 1994. p. 271.

BAUER, T. J. Use of MDF from a global perspective. In: *MDF Industry update with worldwide mill directories*. 6th ed., 1995.

CHARMAHALI, M.; MIRBAGHERI, J.; TAJVIDI, M. Mechanical and physical properties wood-plastic composite panels. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 29, n. 2, p. 309-319, 2010.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard, EN 310: particleboards and fiberboards – determination of modulus of elasticity in bending and bending strength. Brussels, 1993a.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard, EN 317: particleboards and fiberboards – determination of swelling in thickness after immersion in water. Brussels, 1993b.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard, EN 319: particleboards and Fiberboards – determination of internal adhesion. Brussels, 1993c.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard, EN 322: particleboards and fiberboards – determination of humidity. Brussels, 1993d.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. European Standard, EN 323: particleboards and fiberboards – determination of density. Brussels, 1993e.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood Handbook – wood as an engineering material. In: Madison, W.I., US. *Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory*. Publication: General Technical Report FPL-GTR-190. 508 p., 2010.

GILLAH, P. R.; IRLE, M. A.; AMARTEY, S. A. Development and production of laboratory scale novel MDF panels from composite and nonwoven mattresses of sisal and Wood fibre mixtures. *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 58, p. 324-330, 2000.

HIZIROGLU, S.; JARUSOMBUTI, S.; FUEANGVIVAT, V. Surface characteristics of wood composites manufactured in Thailand. *Building and Environment*, v. 39, n. 11, p. 1359-64, 2004.

INÁCIO, C. C.; ROCCO, L. F. A. Determination and analysis of the properties physicist-mechanics of MDF produced with staple fibers of species of reforestation from alternative adhesive in three different contents. In: BRAZILIAN MEETING IN WOOD AND STRUCTURES WOOD. 9., 2004, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: IBRAMEM, 2004.

INÁCIO, C. C.; ROCCO, L. F. A. Use of residues of processing of the wood in the manufacture of MDF. In: BRAZILIAN MEETING IN WOOD AND STRUCTURES WOOD. 7., 2002, Uberlândia. *Anais...* Uberlândia: IBRAMEM, 2002.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL DE MINAS GERAIS – INDI. Use of planted forests in Minas Gerais: variably study of the factory the MDF – Synopsis. Belo Horizonte, 1996.

KAVVOURAS, P. K. Uptake formaldehyde by MDF wood-fiber. *Holz als Roh- und Werkstoff*, v. 55, n. 5, p. 323-325, 1997.

MACEDO, A. R. P.; ROQUE, C. A. L. Panel the wood. *BNDES Sectorial*, v. 6, p. 117-132, 1997.

MALONEY, T. M. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. SF, CA: Miller Freeman, 1989. 672 p.

MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. *Forest Products Journal*, Feb, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1996.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. Perspectives of the process of production of panels OSB. In: BRAZILIAN MEETING IN WOOD AND STRUCTURES WOOD. 7., 2000, São Carlos. *Annals...* São Carlos/SP, 2000. CD-ROM.



NEVES, M. R. Trends of the national and international market of products of forest base. In: FOREST SYMPOSIUM OF RIO GRANDE OF SOUTH. 5., box of south. 1998. Rio Grande do Sul. *Annals...* Rio Grande do Sul: Ageflor/CEPEF/PPGEF/ Union works with wood, p. 81-87, 1998.

NEMLI, G.; COLAKOGLU, G. The influences of lamination technique on the properties of particleboard. *Building and Environment*, v. 40, n. 1, p. 83-87, 2005.

NATIONAL PARTICLEBOARD ASSOCIATION – NPA. *MDF from start to finish*. Particleboard & Medium Density Fiberboard Institute, 1995, 43 p.

PIZZI A. *Advanced wood adhesives technology*. New York: Marcel Dekker, 1994. 297 p.

ROCCA, A. C. C; LACOVONE, A. M. M. B.; BARROTI, A. J. *Residues industrial solids*. 2nd. ed. São Paulo: CETESB, 1993. p. 45-53.

SUNDIN B. Issues affecting binders for wood-base panels. In: MDF INDUSTRY UPDATE WITH WORLDWIDE MILL DIRECTORIES. 6. ed. 1995.

WILSON, J. B.; KRAHMER, R. L. Particleboard: microscopic observations of resin distribution and board fracture. *Forest Products Journal*. v. 26, n. 11, p. 42-45, 1976.

Recebido em 14 dez. 2011 / aprovado em 25 maio 2012

Para referenciar este texto

GAMARRA, F. M. C. et al. Obtenção de um compósito a partir da biomassa residual e industrial utilizando um reator de contracorrente. *Exacta*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 108-114, 2012.