

DESENVOLVIMENTOS RECENTES NA MELHORIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DE TECNOLOGIAS E COMPÓSITOS DE BASE LENHOCELULOLÓGICA: QUESTÕES RELATIVAS AOS ADESIVOS

Fernando Caldeira Jorge

Professor Associado - Centro de Investigação em Alterações

Globais, Energia, Ambiente e Bioengenharia (CIAGEB -UFP)

Grupo de Ambiente e Ecologia Aplicada (GAEA -UFP)

fjorge@ufp.pt

Resumo

Esta revisão cobre os artigos publicados sobre o assunto em epígrafe entre os anos 2002 e 2006, inclusivé, nas revistas científicas mais divulgadas da área das ciências da madeira. Como consequência são referidos sumariamente 47 publicações sujeitas a comité de revisão. Destacam-se os progressos mais relevantes para a investigação, assim como os que têm sido objecto de preocupação da opinião pública, nomeadamente novos produtos/tecnologias que evitem a aplicação de resinas/adesivos que incluam produtos químicos considerados tóxicos para os seres vivos, humanos incluídos, obviamente, ou poluentes para o meio ambiente.

Abstract

This review paper covers the scientific papers on the topic stated in the tile in the time range of 2002 e 2006, inclusivé, that were published in the most known journals of the wood science area. As such, here notes are given on 47 referred papers. Highlights are given on the most relevant progresses to research, as well as those that may be of importance to the public opinion, namely products or technologies that avoid the application of resins/adhesives that incorporate chemicals that are taken as toxic for life in general, and humans more specifically, or that are pollutants for the environment.

GLOSSÁRIO

CCA	crômio-cobre-arsénio
HMwVOC's	VOC's de elevada massa molecular
IB	resistência interna
LPF	resina de lenhina-fenol-formaldeído
MC	teor um humidade
MDF	aglomerado de fibras de media densidade, de processo seco
MDI	resina de metileno de difenildiisocianato
MOE	módulo de elasticidade
MOR	módulo de rotura
MUF	resina de melamina-ureia-formaldeído
MW	massa molecular
OSB	aglomerado de aparas orientadas
PB	aglomerado de particulas
PF	resina de fenol-formaldeído
PM10	particulas de diâmetro médio menor que 10 µm
pMDI	resina de MDI polimérico
PRF	resina de fenol-resorcinol-formaldeído
PY	contraplacado
RF	resina de resorcinol-formaldeído
RH	humidade relativa
RTF	resina de resorcinol-taninos-formaldeído
TS	dilatação em espessura
TVOC's	compostos orgânicos voláteis totais
UF	resina de ureia-formaldeído
US-EPA	United States Environmental Protection Agency
VOC's	compostos orgânicos voláteis
WA	absorção de água

1. ADESIVOS E RECICLAGEM DE MADEIRA

Um dos problemas encontrados frequentemente quando se tenta reciclar resíduos de madeira é a compatibilidade do adesivo com a matéria-prima que se prende colar. Isto é, a resina pode não curar numa extensão suficiente para que resultem as propriedades desejadas no compósito. Entre outras razões, a matéria lenhoce-lulósica, normalmente aplicada na forma particulada, poderá estar contaminada, ou pode ser madeira preservada cujos produtos químicos irão interferir nas reacções químicas envolvidas na cura da resina.

Um adesivo PRF experimental, com um elevado teor de resorcinol, possibilitou atingir os requisitos das normas ASTM aplicáveis quando aplicado na colagem de pinho tratado com CCA (Lisperguer e Becker, 2005). Com resinas MUF, MF e PF conseguiram-se ligações fortes com pinho e larício tratados com azole de cobre (Lee et al., 2006).

2. ADESIVOS DERIVADOS DE FONTES RENOVÁVEIS DE PRODUTOS QUÍMICOS

A identificação e caracterização de produtos químicos de fontes renováveis, normalmente plantas, tem sido, e continua a ser, um princípio orientador para a investigação em muitas áreas, assim como o é a protecção ambiental. A justificação para esta orientação da investigação, e as vantagens que daí resultam, têm sido mencionadas repetidamente na literatura. Daí que não se faça o mesmo aqui mais uma vez.

Em geral, no estudo em causa, uma combinação de taninos da casca de pinheiro radiata com uma resina epóxida exibiu propriedades comparáveis a sistemas de taninos-paraformaldeído, especialmente a pH's básicos (Soto et al., 2005). Resinas RTF copoliméricas, preparadas com extractos das cascas de acácia da China e de abeto de Taiwan, para substituir parte do resorcinol, apresentaram uma boa adesão, do mesmo nível que uma RF; no entanto, a RTF apresentou menor estabilidade e uma estabilidade mais curta (Lee e Lan, 2006). Na presença de amónia, tanto os extractos de quebracho como de pinheiro radiata apresentaram uma cura acelerada com formaldeído, numa forma similar a um adesivo PRF; mas com combinações de extracto de quebracho e PRF não se conseguiram resistências de colagem satisfatórias. Dos componentes do extracto de pinheiro, apenas uma fracção pura de taninos possibilitou uma resistência de colagem aceitável quando em mistura com PRF (Grigsby et al., 2005). Combinações de taninos hidrolisados, extracto de casca de caju e UF exibiram uma cura mais rápida e possibilitaram manufacturar PB com casca de grãos de café com melhores resistências à água líquida e na forma de vapor, quando comparados com os painéis manufacturados apenas com UF (Bisanda et al., 2003).

Lenhina *kraft* de pinho revelou ser um substituto adequado para o fenol em resinas LPF, facto que foi atribuído a maiores quantidades de pontos reactivos nos anéis benzénicos, maior MW médio e temperatura de decomposição térmica mais elevada (Tejado et al., 2007). Óleo da pirólise de casca de resinosas pôde ser combinado com pMDI até percentagens de 40%, e possibilitar a manufactura de PB para aplicações interiores (Gagnon et al., 2004).

Painéis MDF com resina derivada de proteína de sangue reticulada com PF foram comparáveis aos painéis do mesmo tipo com apenas PF; uma combinação de proteína de soja com PF possibilitou obter propriedades no MDF suficientes para aplicações interiores; com aglomerado de aparas, este adesivo revelou-se inferior à PF, mas, mesmo assim, superou a PF em testes de envelhecimento acelerado dos painéis de aparas (Yang et al., 2003).

3. VOC'S – COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

As emissões de VOC's para a atmosfera constituem uma preocupação relativamente à qualidade do ar ambiente porque, sobretudo nas atmosferas urbanas, os VOC's podem ser envolvidos nas, ou talvez melhor dizendo, originar, as reacções do chamado *nevoeiro* fotoquímico, sendo um dos produtos dessas reacções o ozono (O₃), um poluente secundário do ar. As reacções fotoquímicas envolvem também os óxidos de azoto, e são promovidas por luz solar intensa e temperaturas elevadas. As indústrias dos produtos florestais são apenas uma das fontes de VOC's. Mas deverão estar bem longe de serem a fonte mais importante

Medições da emissão de VOC's a partir de amostras de OSB obtidas de uma base de construção recente com painéis estruturais (amostras não pintadas, pintadas com um primário à base de óleo, com uma pintura final à base de látex, ou com ambos) mostraram que as maiores emissões de VOC's ocorreram com o primário (Bartekova et al., 2006). Emissões a partir de OSB de pinho casquinha medidas após 24 horas depois da prensagem e ao longo de um período de 2 meses, mostraram que as emissões de terpenos diminuíram continuamente, enquanto que as concentrações de aldeídos tiveram uma subida inicial seguida de uma diminuição permanente. Concluiu-se que para se conseguir uma redução nas emissões de VOC's a partir de painéis de madeira, precisam de ser consideradas em conjunto as propriedades da madeira, o processo de fabrico e as condições de armazenamento (Makowski e Ohlmeyer, 2006a).

O factor mais importante que afectou as emissões de TVOC's durante a prensagem a quente de MDF de pinho radiata foi a temperatura da prensa, seguida do tempo de prensagem. O teor em resina não pareceu ter efeitos nas emissões de TVOC's, embora ele tenha sido o factor

que mais influenciou as emissões de formaldeído (Kim et al., 2006). As emissões de terpenos a partir de OSB de pinho casquinha foram diminuídas com tempos de prensagem mais elevados, enquanto que a formação de aldeídos voláteis foi acelerada. Neste mesmo estudo observou-se que uma redução sustentada nas emissões de aldeídos através do ajuste dos parâmetros relevantes do processo não seria viável (Makowski e Ohlmeyer, 2006a). Além disso, quando a superfície dos painéis OSB consistia em partículas finas, as emissões de terpenos seriam diminuídas e padrão de formação de aldeídos seria alterado (Makowski e Ohlmeyer, 2006b).

Para painéis fabricados com UF ou PF, o MC do colchão afectou significativamente as emissões de formaldeído, mas o teor em resina e a densidade dos painéis não apresentaram um efeito significativo no mesmo tipo de emissões. Um aditivo na PF diminuiu as emissões de formaldeído, de forma que os painéis que incluíram esse adesivo apresentaram emissões menores mesmo do que os que incluíram pMDI. Por sua vez, a aplicação de pMDI causou uma diminuição nas emissões de HMw-VOC's (Wang et al., 2003).

Acabamentos à base de *epoxy* de aplicação em pó permitiram uma redução a partir de MDF de 99% em formaldeído e até 94% em TVOC's. As emissões de formaldeído/TVOC foram reduzidas de 99%/88%, respectivamente, para laminados fenólicos (Barry e Corneau, 2006).

4. OUTRAS EMISSÕES PARA A ATMOSFERA

As emissões de PM10 derivadas das indústrias de madeira na Suíça foram estimadas: os limites inferior e superior da extrapolação para as emissões de poeiras de madeira PM10 foram de 110 ton/ano e 318 ton/ano, respectivamente, o que correspondeu a um máximo de 1% ou 3% para as emissões totais de PM10 da indústria nacional (Fischer et al., 2005).

5. QUESTÕES ESPECÍFICAS DO FORMALDEÍDO

Decerto que o formaldeído é um VOC, e um capítulo anterior já foi dedicado aos VOC's. No entanto, um capítulo inteiramente dedicado ao formaldeído pode ser

justificado pelas preocupações, das mais diversas índoles, causadas por este produto químico, que, apesar de tudo, é muito comum nos produtos naturais, mesmo em muitos tipos de alimentos. Mas está na base de muitas discussões sobre os efeitos na saúde humana das emissões em atmosferas interiores a partir de muitos derivados de madeira manufacturados com resinas à base de formaldeído, questões comerciais e de concorrência, aceitação dos produtos em determinados mercados exigentes, etc. Por outro lado, não se deve ignorar que muitas espécies de madeira são, naturalmente e por si próprias, fontes mensuráveis de formaldeído.

Foi desenvolvido um adesivo sem formaldeído, que consiste em proteína de soja e 1,3-dicloro-2-propanol (DCP), este último para actuar como agente reticulante (Rogers et al., 2004). Uma emissão de formaldeído com um nível semelhante à da madeira não colada foi conseguida com a aplicação de glixal como catalisador em adesivos à base de taninos do pinheiro radiata (Ballerini et al., 2005). Extracto de acácia catalisado com hexamina a pH 10 mostrou, tanto a nível laboratorial como industrial, ser um adesivo sem emissão de formaldeído (Pichelin et al., 2006).

A libertação de formaldeído a partir de PY foi grandemente reduzida com o tratamento do PY com microondas: a concentração de formaldeído libertado aumentou com a irradiação de microondas e, depois deste tratamento, a emissão diminuiu para um nível abaixo do material não tratado (Saito et al., 2004). Um sistema reticulante composto por ácido cítrico e ácido 1,2,3,4-butanotetracarboxílico, com hipofosfito de sódio como catalisador, foi desenvolvido. A intensificação posterior da modificação da madeira (abeto e faia) e um aumento na qualidade dos produtos derivados de madeira foi conseguida com o tratamento com microondas (Vukusic et al., 2006).

Emissões de formaldeído a partir de PB's que incluíram adesivos à base de taninos de pinheiro e de acácia, tendo paraformaldeído, hexametilenotetramina e TN (tris(hidroxil)nitrometano), como catalisadores, cumpriram as especificações E₁ (Kim e Kim, 2004).

Um modelo desenvolvido pela US-EPA (Modelo Versar), está disponível como uma ferramenta para fazer previsões da concentração de formaldeído em atmosferas interiores (Groah, 2006).

6. TRATAMENTO TÉRMICO DA MATÉRIA-PRIMA PARA DERIVADOS DE MADEIRA

O tratamento térmico da madeira maciça para aumentar a sua estabilidade dimensional e a durabilidade está já muito investigado e já se encontram produtos no mercado. A novidade, em termos de investigação, é que também relativamente ao tratamento térmico, mercê do conhecimento e das vantagens obtidas com a madeira maciça, começam agora a surgir resultados para aplicação aos derivados de madeira. Uma das vantagens principais vantagens da alteração térmica da madeira é a total ausência de aplicação de produtos químicos.

O tratamento térmico de aparas de pinho casquinha antes da prensagem de OSB reduziu a TS, resultando, obviamente, num aumento da estabilidade dimensional; a IB não foi afectada (Paul et al., 2006). O pré-tratamento com injeção de vapor, a temperaturas abaixo de 200 °C, aumentou a estabilidade de vários tipos de painéis, tais como MDF e PB (Boonstra et al., 2006). O tratamento térmico de fibra para MDF resultou numa redução importante na TS e na WA, embora a TS tenha aumentado após ciclos repetidos de absorção de água e secagem; o tratamento não implicou diferenças significativas no MOR, MOE e na IB (Garcia et al., 2006). Painéis de OSB de *Pinus taeda* manufacturados com PF, sem glicerina adicionada como hidrofobante, e sujeitos a um tratamento térmico pós-prensagem, apresentaram maior estabilidade dimensional através da diminuição da higroscopicidade da madeira e pelo relaxamento do stresse criado pela prensagem a quente (Menezzi e Tomaselli, 2006).

O tratamento térmico de espruce levou a uma grande melhoria da força de adesão entre a superfície da madeira modificada e polietileno; o ângulo de contacto de gotas de água aumentou significativamente (Follrich et al., 2006).

7. COMPÓSITOS LENHOCELULÓSICOS SEM AGENTE LIGANTE

Desde há alguns anos atrás que as resinas com base em formaldeído (e.g., UF, MUF, PF), e de uma forma mais geral, as resinas sintéticas, têm sido encaradas pela opinião pública como algo de perigoso, ofensivo para a

saúde do consumidor/utilizador, a que acresce a preocupação com o facto de serem derivadas de produtos químicos de fontes não renováveis. Este facto criou um ímpeto para o desenvolvimento de adesivos baseados em produtos químicos de fontes renováveis (principalmente extractos de plantas). Mais recentemente surgiram resultados indicativos de que esta preocupação sobre resinas/adesivos em geral (não se discute aqui até que ponto esta preocupação tem fundamentação objectiva) poderá ser ultrapassada pelo desenvolvimento de técnicas de adesão de madeira que não envolvem sem quaisquer agentes ligantes adicionados. Isto é, colar madeira através da manipulação das suas propriedades químicas e físicas, por si só.

Aglomerado de fibras de espruce e de faia pôde ser manufacturado com sucesso sem qualquer agente ligante, tendo as fibras sido previamente activadas com o reagente de Fenton ($H_2O_2/FeSO_4$). A melhoria na adesão foi atribuída à formação de ligações interfibra originadas pela reacção de radicais e outros grupos reactivos gerados nas fibras (Widsten et al., 2003). Painéis de fibra sem agente ligante puderam ser manufacturados a partir de embalagens de cartão canelado recicladas (com incorporação de algum plástico). A níveis de RH de 10 e 20%, esses painéis foram mais resistentes e mais rígidos que painéis semelhantes manufacturados com fibras de pinho *lodgpole* (Hunt e Supan, 2006).

Quando fibras de madeira foram tratadas oxidativamente com um agente quelante produzido pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* (um fungo de apodrecimento castanho), na presença de peróxido de hidrogénio (H_2O_2) e ião férrico [$Fe(III)$], foram gerados radicais livres em fibra rica em lenhina obtida por um processo termo-mecânico, tendo a lenhina ganho funcionalidades para actuar como adesivo. Por meio deste tratamento, aglomerado de fibras de resinosas foi manufacturado tanto por via húmida como por via seca, e apresentou maiores IB, MOR e MOE, quando comparado com painéis de fibras sem o pré-tratamento (Yelle et al., 2004).

A denominada *soldadura de madeira* (*wood welding*) é uma forma de ligar madeira sem qualquer agente externo, só aquecimento e vibração, que apresenta diversas vantagens em relação aos acessórios metálicos de junção de peças de madeira ou à colagem: durante a soldadura ocorrem transformações extensivas na fase do estado sólido levando a uma fusão parcial de alguns

dos seus componentes, principalmente a lenhina, na porção onde se gerou calor. A natureza e a extensão dessas transformações são correlacionadas com a energia fornecida e, deste modo, com o calor gerado na interface das peças de madeira.

Peças de madeira puderam ser soldadas através de fricção sem que se criasse qualquer depósito dessa soldadura. A microestrutura da junta soldada revelou a forma pela qual a madeira decomposta termicamente forma a ligação entre as peças soldadas (Stamm et al., 2005). A largura da zona soldada variou em função da temperatura máxima atingida durante o processo de soldadura, e a temperatura máxima atingida nos limites das peças ligadas foi menor do que a medida na parte central (Ganne-Chédeville et al., 2006a). Testes não destrutivos com termografia de infravermelhos possibilitaram a medição da temperatura média, do pico de temperatura máxima, do perfil de temperaturas e da sua distribuição, e da taxa de aumento de temperatura (Ganne-Chédeville et al., 2006b). Esta técnica de caracterização pode também ser aplicada para detectar defeitos de soldadura e para fornecer informação sobre a modificação física e química do material.

Painéis de madeira, tais como PB, OSB e MDF, foram ligados com resistência suficiente para cumprir de acordo com as normas aplicáveis aos acessórios de ligação metálicos, por meio de rotação de pernos de faia inseridos em furos nos painéis (Resch et al., 2006).

A alteração térmica da madeira por esta técnica e a formação de uma camada viscosa que actua como um adesivo, tem sido estudada (Stamm et al., 2005): celulose foi o componente da madeira menos alterado; as hemiceluloses foram menos estáveis nas condições de fricção; a lenhina mostrou alterações de vários tipos, com um aumento de grupos fenólicos livres e uma diminuição das ligações típicas das unidades de fenilpropano; derivados de furano foram detectados nos compostos voláteis dos fumos emitidos; reacções entre furfural e outros derivados de furano com a lenhina foram consideradas como fazendo parte das reacções principais na zona de fricção que provocam a ligação.

PB's sem agente ligante foram desenvolvidos com sucesso a partir da parte interior do caule (chamemos-lhe *núcleo*) de *kenaf* com prensagem com injeção de vapor. No entanto, embora estes painéis de *kenaf* tenham apre-

sentado uma boa IB, a sua durabilidade foi relativamente pobre (Xu et al., 2003). PB de baixa densidade fabricado com o mesmo material referido anteriormente foi manufacturado com sucesso também com prensagem com injeção de vapor; a sua condutividade térmica foi similar à dos materiais de isolamento térmico comuns (e.g., lâ de rocha), e apresentaram um coeficiente de absorção sonora elevado (Xu et al., 2004). Na mesma sem agente ligante, mas usando como matéria-prima pó finamente dividido do núcleo de *kenaf*, os painéis apresentaram uma correlação positiva entre MOR, MOE, e IB, e a densidade. No entanto, os painéis apresentaram uma baixa resistência à água (Okuda e Sato, 2004).

Os efeitos das alterações químicas nos aglomerados de *kenaf* sem agente ligante têm sido revelados: tratamentos suaves de injeção de vapor no núcleo de *kenaf* particulado causaram uma degradação significativa de hemiceluloses, lenhina e celulose; a prensagem a quente convencional causou uma degradação em menor extensão dos mesmos componentes; a prensagem a quente sem vapor e sem ligantes adicionados apresentou uma adesão pobre. Deste modo, concluiu-se que a degradação parcial dos três principais constituintes do núcleo de *kenaf* com um tratamento ligeiro por injeção de vapor aumenta o desempenho da adesão e a estabilidade dimensional dos painéis (Widyorini et al., 2005). Além disso, partes de lenhina e de hemiceluloses foram decompostas durante a prensagem a quente de partículas do núcleo de *kenaf*. Foi observado o progresso das reacções de condensação na lenhina e a formação de ligações químicas por via da análise de compostos carbonílicos de baixo peso molecular em extractos de metanol. O amolecimento térmico da lenhina também sugeriu que este mesmo fenómeno tem um papel importante nas propriedades dos painéis (Okuda et al., 2006).

Aglomerados de fibra do núcleo de *kenaf*, sem agente ligante e com densidades de 0,3 e 0,5 g/cm³, foram manufacturados com o processo convencional para o MDF. Além disso, quando foram aplicados vapor a alta pressão e um tempo de cozimento mais longo na fase de refinação, obteve-se uma IB mais elevada, TS mais baixa, mas valores menores de resistência à flexão. Aglomerados de fibra sem agente ligante manufacturados com fibras com um MC de 30% apresentaram melhores propriedades mecânicas e de estabilidade dimensional, do que as dos painéis a que se recorreu a fibra do secador a ar comum (Xu et al., 2006).

Numa forma menos convencional, painéis foram manufacturados tendo nas duas superfícies folhas de fibra de *kenaf* tecida, e partículas do núcleo de *kenaf* na camada interna do painel; não foi adicionado nenhum agente ligante às partículas da camada interna, enquanto que nas camadas externas foi pulverizado MDI. Comparado com os painéis com uma única camada e sem agente ligante, estes novos painéis apresentaram melhores resistências à flexão e estabilidade dimensional, especialmente às densidades mais baixas (Xu et al., 2005).

A análise de lenhina mostrou que os compósitos com fibras do núcleo de *kenaf* tinham proporções menores seringueil/guaiaquil e também ácidos cinâmicos/guaiaquil; algumas partes dos ácidos cinâmicos com ligações éster foram também clivados devido à degradação das hemiceluloses e da lenhina durante o tratamento com vapor. Além do envolvimento dos três componentes principais da matéria lenhocelulósica, foi sugerido que o ácido cinâmico também participará no mecanismo de auto-adesão (Widyorini et al., 2005a) [84].

Com outras matérias-primas lenhocelulósicas além do *kenaf*, objecto de bastantes estudos conforme ficou patente acima, também já se conseguiu manufacturar PB sem agente ligante. Com bagaço de cana com prensagem com injeção de vapor, e mesmo com a prensagem a quente convencional, como método de referência, conseguiu-se manufacturar painéis sem adesivo adicionado. A camada interna dos painéis continha partículas do núcleo da cana, e a camada externa era sobretudo constituída por fibra dura da camada externa da cana. As partículas do núcleo do bagaço possibilitaram melhores propriedades dos que as partículas da camada externa da cana; por outro lado os painéis cujo fabrico envolveu a injeção de vapor apresentaram melhores propriedades do que os que envolveram a prensagem a quente simples (Widyorini et al., 2005b).

Miscanthus sinensis foi sujeito a explosão por vapor num reactor *batch* para produzir fibra, com a qual se conseguiu manufacturar aglomerado sem agente ligante. Um aumento na estabilidade dimensional foi atribuído à diminuição no teor de hemiceluloses causada pelo método de desfibracão (Velásquez et al., 2003).

8. NOTA FINAL

Rosenberg e colaboradores (Rosenberg et al., 1990) chamaram a atenção para o facto de que na área de investigação das ciências da madeira as generalizações não podem ser muito abrangentes ou ser muito precisas. A madeira, e todos os recursos lenhocelulósicos, são materiais muito variáveis. A isso acresce a variabilidade entre os laboratórios, resinas, aditivos, métodos de trabalho em geral, *scale ups*, e muito mais. As actividades de investigação são guiadas raramente por uma estrutura teórica global que pode ser aplicada em todos os casos. O que torna difícil o progresso tecnológico (aproveitamento de experiência e resultados por outros investigadores, transferência de tecnologia, etc.) na indústria dos produtos florestais.

Este é um aspecto importante que não deve deixar de ser considerado após a leitura deste artigo. Os resultados científicos devem ser revistos, os métodos duplicados, os resultados serem comparáveis; se não, devem ser encarados como uma fonte de conhecimento experimental, orientadora apenas, para que um dado investigador defina o seu próprio trabalho de investigação.

Tem sido esta a experiência do autor.

REFERÊNCIAS

BALLERINI, A.; DESPRES, A.; PIZZI, A. (2005). Non-Toxic, Zero Emission Tannin-Glyoxal Adhesives for Wood Panels. *Holz Roh- Werks.*, Volume 63, Nº. 6, pp. 477-478.

BARRY, A.; CORNEAU, D. (2006). Effectiveness of Barriers to Minimize VOC Emissions Including Formaldehyde. *Forest Prod. J.*, Volume 56, Nº. 9, pp. 38-42.

BARTEKOVA, A.; LUNGU, C.; SHMULSKY, R.; HUELMAN, P.; PARK, J. Y. (2006). Laboratory Evaluation of Volatile Organic Compounds Emissions from Coated and Uncoated Oriented Strandboard. *Forest Prod. J.*, Volume 56, Nº. 2, pp. 85-90.

BISANDA, E. T. N.; OGOLA, W. O.; TESHA, J. V. (2003). Characterisation of Tannin Resin Blends for Particle Board Applications. *Cement Concrete Comp.*, Volume 25, Nº. 6, pp. 593-598.

BOONSTRA, M. J.; PIZZI, A.; OHLMEYER, M.; PAUL, W. (2006). The Effects of a Two Stage Heat Treatment Process on the Properties of Particleboard. *Holz Roh- Werks.*, Volume 64, Nº. 2, pp. 157-164.

FISCHER, A.; RICHTER, K.; EMMENEGGER, L.; KÜNNIGER, T. (2005). PM10 Emissions Caused by the Woodworking Industry in Switzerland. *Holz Roh- Werks.*, Volume 63, Nº. 4, pp. 245-250.

FOLLRICH, J.; MÜLLER, U.; GINDL, W. (2006). Effects of Thermal Modification on the Adhesion between Spruce Wood (*Picea abies* Karst.) and a Thermoplastic Polymer. *Holz Roh- Werks.*, Volume 64, Nº. 5, pp. 373-376.

GAGNON, M.; ROY, C.; RIEDL, B. (2004). Adhesives Made from Isocyanates and Pyrolysis Oils for Wood Composites. *Holzforsch.*, Volume 58, Nº. 4, pp. 400-407.

GANNE-CHÉDEVILLE, C.; LEBAN, J. M.; PROPERZI, M.; PICHELIN, F.; PIZZI, A. (2006a). Temperature and Density Distribution in Mechanical Vibration Wood Welding. *Wood Sci. Technol.*, Volume 40, Nº. 1, pp. 72-76.

GANNE-CHÉDEVILLE, C.; PROPERZI, M.; PIZZI, A.; LEBAN, J.-M.; PICHELIN, F. (2006b). Parameters of Wood Welding: A Study with Infrared Thermography. *Holzforsch.*, Volume 60, Nº. 4, pp. 434-438.

GARCIA, R. A.; CLOUTIER, A.; RIEDL, B. (2006). Dimensional stability of MDF panels produced from heat-treated fibres. *Holzforsch.*, Volume 60, Nº. 3, pp. 278-284.

GRIGSBY, W. J.; THUMM, A.; KAMKE, F. A. (2005). Determination of Resin Distribution and Coverage in MDF by Fiber Staining. *Wood Fiber Sci.*, Volume 37, Nº. 2, pp. 258-269.

GROAH, W. J. (2006). Predicting Indoor-air Formaldehyde Concentrations from Emissions of Urea-Formaldehyde-Bonded Wood Products using the Versar Model. *Forest Prod. J.*, Volume 56, Nº. 10, pp. 97-100.

HUNT, J.F.; SUPAN, K. (2006). Binderless Fiberboard: Comparison of Fiber from Recycled Corrugated Containers and Refined Small-diameter Whole Treetops. *Forest Prod. J.*, Volume 56, Nº. 7/8, pp. 69-74.

KIM, G.-H.; CHO, J.-S.; RA, J.-B.; PARK, J.-Y. (2006). Volatile Organic Compounds Emissions from Radiata Pine MDF as a Function of Pressing Variables. *Forest Prod. J.*, Volume 56, Nº. 7/8, pp. 91-95.

KIM, S.; KIM, H.-J. (2004). Evaluation of Formaldehyde Emission of Pine and Wattle Tannin-based Adhesives by Gas Chromatography. *Holz Roh- Werks.*, Volume 62, Nº. 2, pp. 101-106.

LEE D.; LEE, M. J.; SON, D. W.; PARK, B. D. (2006). Adhesive Performance of Woods Treated with Alternative Preservatives. *Wood Sci. Technol.*, Volume 40, Nº. 3, pp. 228-236.

LEE, W.-J.; LAN, W.-C. (2006). Properties of Resorcinol-Tannin-Formaldehyde Copolymer Resins Prepared

- from the Bark Extracts of Taiwan Acacia and China Fir. *Bioresource Technol.*, Volume 97, No. 2, pp. 257-264.
- LISPERGUER, J. H.; BECKER, P. H.** (2005). Strength and Durability of Phenol-Resorcinol-Formaldehyde Bonds to CCA-Treated Radiata Pine Wood. *Forest Prod. J.*, Volume 55, No. 12, pp. 113-116.
- MAKOWSKI, M.; OHLMEYER, M.** (2006a). Impact of Drying Temperature and Pressing Time Factor on VOC Emissions from OSB Made of Scots Pine. *Holzforsch.*, Volume 60, No. 4, pp. 417-422.
- MAKOWSKI, M.; OHLMEYER, M.** (2006a). Impact of Drying Temperature and Pressing Time Factor on VOC Emissions from OSB Made of Scots Pine. *Holzforsch.*, Volume 60, No. 4, pp. 417-422.
- MAKOWSKI, M.; OHLMEYER, M.** (2006b). Influences of Hot Pressing Temperature and Surface Structure on VOC Emissions from OSB Made of Scots Pine. *Holzforsch.*, Volume 60, No. 5, pp. 533-538.
- MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.** (2006). Contact Thermal Post-treatment of Oriented Strandboard to Improve Dimensional Stability: A Preliminary Study. *Holz Roh-Werks.*, Volume 64, No. 3, pp. 212-217.
- OKUDA, N.; HORI, K.; SATO, M.** (2006). Chemical Changes of Kenaf Core Binderless Boards during Hot Pressing (II): Effects on the Binderless Board Properties. *J. Wood Sci.*, Volume 52, No. 3, pp. 249-254.
- OKUDA, N.; SATO, M.** (2004). Manufacture and Mechanical Properties of Binderless Boards from Kenaf Core. *J. Wood Sci.*, Volume 50, No. 1, pp. 53-61.
- PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H.; BOONSTRA, M.J.; PIZZI, A.** (2006). Optimising the Properties of OSB by a One-step Heat Pre-treatment Process. *Holz Roh-Werks.*, Volume 64, No. 3, pp. 227-234.
- PICHELIN, F.; NAKATANI, M.; PIZZI, A.; WIELAND, S.; DESPRES, A.; RIGOLET, S.** (2006). Structural Beams from Thick Wood Panels Bonded Industrially with Formaldehyde-free Tannin Adhesives. *Forest Prod. J.*, Volume 56, No. 5, pp. 31-36.
- RESCH, L.; DESPRES, A.; PIZZI, A.; BOCQUET, J. F.; LEBAN, J.-M.** (2006). Welding-through Doweling of Wood Panels. *Holz Roh-Werks.*, Volume 64, No. 5, pp. 423-425.
- ROGERS, J.; GENG, X. L.; LI, K. C.** (2004). Soy-based Adhesives with 1,3-dichloro-2-propanol as a Curing Agent. *Wood Fiber Sci.*, Volume 36, No. 2, pp. 186-194.
- ROSENBERG, N.; INCE, P.; SKOG, K.; PLANTINGA, A.** (1990). Understanding the Adoption of New Technology in the Forest Products Industry. *Forest Prod. J.*, Volume 40, No. 19, pp. 15-22.
- SAITO, Y.; NAKANO, K.; SHIDA, S.; SOMA, T.; ARIMA, T.** (2004). Microwave-enhanced Release of Formaldehyde from Plywood. *Holzforsch.*, Volume 58, No. 5, pp. 548-551.
- SOTO, R.; FREER, J.; BAEZA, J.** (2005). Evidence of Chemical Reactions between di- and poly-glycidyl ether Resins and Tannins Isolated from *Pinus radiata* D. Don Bark. *Bioresource Technol.*, Volume 96, No. 1, pp. 95-101.
- STAMM, B.; NATTERER, J.; WINDEISEN, E.; WEGENER, G.** (2005). Thermal Behaviour of Polysaccharides in Wood during Friction Welding. *Holz Roh-Werks.*, Volume 63, No. 5, pp. 388-389.
- STAMM, B.; NATTERER, J.; NAVI, P.** (2005). Joining Wood by Friction Welding. *Holz Roh-Werks.*, Volume 63, No. 5, pp. 313-320.
- TEJADO, A.; PEÑA, C.; LABIDI, J.; ECHEVERRIA, J. M.; MONDRAGON, I.** (2007). Physico-Chemical Characterization of Lignins from Different Sources for use in Phenol-Formaldehyde Resin Synthesis. *Bioresource Technol.*, Volume 98, No. 8, pp. 1655-1663.
- VELÁSQUEZ, J. A.; FERRANDO, F.; FARRIOL, X.; SALVADÓ, J.** (2003). Binderless Fiberboard from Steam Exploded *Miscanthus sinensis*. *Wood Sci. Technol.*, Volume 37, No. 3-4, pp. 269-278.
- VUKUSIC, S. B.; KATOVIC, D.; SCHRAMM, C.; TRAJKOVIC, J.; SEFC, B.** (2006). Polycarboxylic Acids as Non-formaldehyde Anti-swelling Agents for Wood. *Holzforsch.*, Volume 60, No. 4, pp. 439-444.
- WANG, W.; GARDNER, D. J.; BAUMANN, M. G. D.** (2003). Factors Affecting Volatile Organic Compound Emissions during Hot-Pressing of Southern Pine Particleboard. *Forest Prod. J.*, Volume 53, No. 3, pp. 65-72.
- WIDSTEN, P.; QVINTUS-LEINO, P.; TUOMINEN, S.; LAINE, J. E.** (2003). Manufacture of Fiberboard from Wood Fibers Activated with Fenton's Reagent ($H_2O_2/FeSO_4$). *Holzforsch.*, Volume 57, No. 4, pp. 447-452.
- WIDYORINI, R.; HIGASHIHARA, T.; XU, J. Y.; WATANABE, T.; KAWAI, S.** (2005). Self-bonding Characteristics of Binderless Kenaf Core Composites. *Wood Sci. Technol.*, Volume 39, No. 8, pp. 651-662.
- WIDYORINI, R.; XU, J. Y.; UMEMURA, K.; KAWAI, S.** (2005). Manufacture and Properties of Binderless Particleboard from Bagasse I: Effects of Raw Material Type, Storage Methods, and Manufacturing Process. *J. Wood Sci.*, Volume 51, No. 6, 648-654.
- WIDYORINI, R.; XU, J.; WATANABE, T.; KAWAI, S.** (2005). Chemical Changes in Steam-pressed Kenaf Core Binderless Particleboard. *J. Wood Sci.*, Volume 51, No. 1, pp. 26-32.

XU, J. Y.; HAN, G. P.; WONG, E. D.; KAWAI, S. (2003). Development of Binderless Particleboard from Kenaf Core using Steam-injection Pressing. *J. Wood Sci.*, Volume 49, No. 4, pp. 327-332.

XU, J. Y.; WIDYORINI, R.; KAWAI, S. J. (2005). Properties of Kenaf Core Binderless Particleboard Reinforced with Kenaf Bast Fiber-woven Sheets. *Wood Sci.*, Volume 51, No. 4, pp. 415-420.

XU, J.; SUGAWARA, R.; WIDYORINI, R.; HAN, G.; KAWAI, S. (2004). Manufacture and Properties of Low-density Binderless Particleboard from Kenaf Core. *J. Wood Sci.*, Volume 50, No. 1, pp. 62-67.

XU, X. Y.; WIDYORINI, R.; YAMAUCHI, H.; KAWAI, S. (2006). Development of Binderless Fiberboard from Kenaf Core. *J. Wood Sci.*, Volume 52, No. 3, pp. 236-243.

YANG, H.-S.; KIM, D.-J.; KIM, H.-J. (2003). Rice Straw-Wood Particle Composite for Sound Absorbing Wooden Construction Materials. *Bioresource Technol.*, Volume 86, No. 2, pp. 117-121.

YELLE, D.; GOODELL, B.; GARDNER, D. J.; AMIRBAHMAN, A.; WINISTORFER, P.; SHALER, S. (2004). Bonding of Wood Fiber Composites using a Synthetic Chelator-Lignin Activation System. *Forest Prod. J.*, Volume 54, No. 4, pp. 73-78.