

Utilização de madeira modificada na construção.

Bruno M. Esteves

PhD, Prof Adjunto Dep Eng Mad.
CIDETS, ISPV (Viseu, Portugal)

bruno@demad.estv.ipv.pt



José Saporiti Machado

PhD., Inv. Auxiliar., Dep Estrutura
LNEC (Lisboa, Portugal)

saporiti@lnec.pt



Lina Nunes

PhD., Inv. Auxiliar., Dep. Estr.
LNEC (Lisboa, Portugal)

linanunes@lnec.pt



Palavras-chave – construção, madeira modificada, propriedades, utilizações

Keywords – construction, modified wood, properties, uses

RESUMO

A madeira modificada é, hoje em dia, uma alternativa à madeira maciça para diversas aplicações na construção. A modificação da madeira baseia-se em processos de tratamento aplicados de modo a melhorar o comportamento da madeira maciça, de forma a obviar alguns dos aspectos responsáveis por um desempenho desadequado da madeira na construção. Os tratamentos actualmente existentes, focam a sua atenção na melhoria da resistência à biodegradação, da estabilidade dimensional e da resistência à radiação ultravioleta.

O presente artigo tem por objectivo analisar as potencialidades da utilização da madeira modificada na construção, salientando as suas vantagens e igualmente aspectos que têm limitado a sua utilização. A principal característica da madeira modificada é a drástica redução do teor de água de equilíbrio da madeira, propriedade importante sobretudo quando utilizada em situações de interior húmido ou exterior abrigado. Esta propriedade poderá favorecer a durabilidade da madeira modificada relativamente à madeira maciça. A melhor estabilidade dimensional reduz a formação de fissuras, conduzindo a um melhor desempenho dos sistemas de revestimento. No entanto, alguns tratamentos podem diminuir algumas propriedades da madeira com impacto directo no nível de desempenho dos elementos na construção (resistência à flexão, o módulo de elasticidade e a densidade).

ABSTRACT

Modified wood is, nowadays, an alternative to solid wood for various applications in construction. Wood modification treatments are processes used to improve the behaviour of solid wood in order to remedy some of the things responsible for an inadequate performance of wood in construction. Existing treatments focus their attention on the improvement of resistance to biodegradation, dimensional stability and resistance to ultraviolet radiation. This article aims to study the potential use of modified wood in construction, highlighting their benefits and also aspects that have limited their use. The main feature of modified wood is the drastic reduction of water content of wood, an important property especially when wood is used in indoor humid or exterior protected conditions. This property can favour the durability of modified wood against solid wood. The better dimensional stability reduces the formation of cracks, leading to better performance of the coating systems. However, some treatments may decrease wood properties with direct impact on the level of

performance of the elements in construction (namely bending strength, modulus of elasticity and density).

1. Introdução

A madeira maciça na construção tem diversas aplicações estruturais e não estruturais. Os processos de modificação da madeira melhoram as propriedades de madeiras menos nobres como o pinho, o espruce ou a bétula, produzindo um material novo sem a introdução de compostos químicos potencialmente perigosos. Deste modo, no final do ciclo de vida este material não apresenta um perigo ambiental superior ao da madeira não tratada. A modificação da madeira pode ser uma boa alternativa ao tratamento de madeiras com biocidas que, apesar de melhorar as propriedades do material, pode introduzir na madeira compostos de elevada toxicidade que constituam um perigo para a saúde pública e ambiental, quer durante a sua utilização, quer no final da sua vida útil. A madeira modificada apresenta-se ainda como uma excelente alternativa às madeiras exóticas ou a outros materiais menos sustentáveis, para a maioria das aplicações não estruturais e para algumas aplicações estruturais.

2. Processos de modificação da madeira

Existem sobretudo quatro tipos de modificação da madeira: modificação química, modificação térmica, modificação de superfície e modificação por impregnação. A principal característica da madeira modificada é a redução drástica do teor de água de equilíbrio da madeira, propriedade importante sobretudo quando utilizada no exterior. Esta redução é sobretudo devida à menor acessibilidade dos grupos hidroxilo que se encontram sobretudo na celulose e hemiceluloses e que são os principais responsáveis pela higroscopicidade da madeira. Ao bloquear estes grupos, principalmente os das hemiceluloses que se encontram mais acessíveis, a madeira diminui a sua capacidade de absorver água. A redução do teor de água de equilíbrio vai, por sua vez, alterar outras propriedades da madeira como a molhabilidade, a resistência à biodegradação e sobretudo a estabilidade dimensional.

O aumento da estabilidade dimensional reduz a formação de fissuras, conduzindo a um melhor desempenho dos sistemas de revestimento e contribui para um aumento da durabilidade da madeira modificada. No entanto alguns tratamentos podem diminuir as principais propriedades da madeira para construção (p. ex. resistência à flexão, o módulo de elasticidade e a massa volúmica) ou, alterar a relação entre estas propriedades estabelecida para a madeira maciça (Widmann e Beikircher 2010).

O presente artigo tem por objectivo analisar as potencialidades da utilização da madeira modificada na construção, salientando as suas vantagens e igualmente aspectos que têm limitado a sua utilização para fins estruturais.

A existência em abundância de madeira de elevada qualidade e baixo custo fez com que, no passado, nenhum método de modificação tenha vingado. Nos últimos anos, devido à diminuição da produção de madeira durável surgiu uma necessidade crescente de materiais sustentáveis o que, conjuntamente com um aumento das restrições na utilização de produtos químicos tóxicos, potenciou o aparecimento de vários processos de modificação com significativo sucesso comercial.

2.1. Descrição dos processos

A modificação térmica é, provavelmente, a que mais sucesso comercial tem no momento, especialmente em alguns países nórdicos, provavelmente devido ao baixo custo do tratamento em relação à modificação química ou à modificação por impregnação que utilizam quantidades significativas de alguns compostos químicos que tornam o produto final bastante mais caro. Alguns processos de modificação térmica atingiram a fase de comercialização com maior ou menor sucesso: ThermoWood® (Finlândia), Plato® (Holanda), Perdure (Canadá) e Rectification (França) e Oil Heat Treatment (Alemanha). A modificação térmica é um tratamento feito a temperaturas elevadas (160-260°C) durante um curto espaço de tempo num ambiente isento, ou com baixo teor de oxigénio com recurso a vapor (ThermoWood®, Plato® e Perdure), um gás

inerte (Rectification) ou óleo (OHT). Os processos são geralmente constituídos por quatro fases: aquecimento, tratamento, arrefecimento e estabilização. Uma descrição mais completa dos processos pode ser encontrada em Esteves e Pereira (2009)

Os métodos de modificação química consistem na utilização de um composto químico que reage com os grupos hidroxilo da madeira, substituindo-os por um composto hidrofóbico conduzindo a uma diminuição da higroscopicidade. O método de modificação química com maior sucesso comercial até ao momento é a acetilação com anidrido acético. Este processo baseia-se na reacção entre os grupos hidroxilo da madeira e o anidrido acético, havendo a substituição de parte dos grupos hidroxilo da madeira por um composto hidrofóbico o que conduz a uma diminuição da higroscopicidade da madeira criando um novo material com propriedades melhoradas. Além do anidrido acético, já foram testados outros anidridos de cadeia linear mais comprida mas que mostraram ser menos eficientes devido à diminuição da reactividade com o aumento de massa molecular. A madeira tratada por este processo é comercializada pela Titan Wood Lda. (Holanda) sob a marca Accoya®.

A modificação por impregnação consiste na introdução de um ou vários compostos químicos na parede das células e na sua posterior reacção de modo a formar um composto que bloqueie o acesso aos grupos hidroxilo, diminuindo desta forma a higroscopicidade da madeira. Apesar de esta modificação ser feita com recurso a um composto químico ela difere da modificação química pois, embora possa ocorrer, não é a ligação química aos compostos estruturais das células de madeira que melhoram as propriedades do material. Alguns processos baseiam-se na impregnação de um monómero e subsequente polimerização, enquanto outros se devem à introdução de um material solúvel que após tratamento se torna insolúvel.

Os processos com maior sucesso comercial são: a furfurilação, que é um processo que se baseia na polimerização do álcool furfurílico que pode ser obtido através dos produtos secundários da produção do bioetanol, o processo Indurite, que utiliza uma mistura de maltodextrina com resinas de melamina num sistema aquoso produzindo um polímero que não é lixiviado e o DMDHEU (dimetiloldihidroxietilenourea), novo no mercado, que é uma resina que há muito se utiliza na indústria têxtil para estabelecer ligações cruzadas e estabilizar as moléculas de celulose de algodão. A madeira tratada por furfurilação é comercializada sobre a marca Kebony® (Noruega), a tratada pelo processo Indurite é comercializada pela Osmose (Reino Unido) e a tratada com DMDHEU tem o nome de Belmadur® e é comercializada pela BASF (Alemanha).

O elevado custo dos processos de modificação da superfície fazem com que actualmente não exista nenhum processo à escala comercial. Estes processos alteram sobretudo as propriedades da superfície da madeira e servem essencialmente para melhorar a resistência à degradação por agentes atmosféricos e ainda para melhorar a aplicação de produtos de revestimento e/ou de acabamento.

2.2. Impacto da modificação nas propriedades da madeira

A modificação térmica altera diversas propriedades da madeira sendo a principal a diminuição do teor de água de equilíbrio da madeira que é tanto maior quanto a intensidade do tratamento. Esteves et al (2007a) estimaram uma redução deste teor de cerca de 40% para a madeira de pinheiro (*Pinus pinaster* Ait.). O aumento da estabilidade dimensional (Tjeerdsma et al 1998; Yildiz, 2002; Esteves et al 2007a,b:2008) e da resistência contra fungos (Dirol e Guyonnet, 1993; Tjeerdsma et al 2002; Hakkou et al 2006) tornam este material mais durável em utilizações no exterior relativamente à madeira não tratada. Uma vantagem deste método é que o tratamento é eficaz tanto para o borne como para o cerne e pode ser aplicado a qualquer espécie de madeira, ao contrário de outras modificações que se baseiam na impregnação da madeira o que, geralmente, só é possível no borne. No entanto, este tratamento, não melhora significativamente a resistência contra térmitas subterrâneas (Nunes et al 2006), embora na presença de madeira tratada e não tratada elas ataquem preferencialmente a não tratada. De acordo com Militz (2002) o tratamento melhora ligeiramente a resistência contra outros insectos como o *Hylotrupes bajulus*, o *Lyctus brunneus* e o *Anobium punctatum*. A durabilidade da madeira quando em contacto com o solo apresenta resultados muito variáveis relativamente a fungos de podridão (Kamdern et al

2002; Plaschkies et al, 2010) o que em conjunto com a susceptibilidade a térmitas subterrâneas torna menos viável a utilização deste material nessa situação de aplicação. A modificação térmica também não melhora a resistência contra os xilófagos marinhos (Westin et al 2006). O principal problema deste tratamento é, no entanto, a degradação de algumas propriedades mecânicas, essencialmente das propriedades de flexão (Kim et al 1998). Apesar do efeito no módulo de elasticidade ser diminuto, a redução da tensão de rotura pode ser significativa, impedindo a utilização deste material em aplicações de natureza estrutural. Além disso a madeira torna-se mais quebradiça com a deterioração da resistência a esforços dinâmicos. Esta propriedade é importante no que diz respeito à utilização em postes pelo facto de a colocação dos mesmos implicar uma forte pancada que poderá conduzir à fractura do poste. Outras propriedades afectadas são ainda a cor, que escurece significativamente, e a condutividade térmica que diminui, o que pode ser favorável para a utilização em saunas. Esteves e Pereira (2009) publicaram recentemente uma revisão sobre as melhorias dos vários processos de modificação térmica.

Comercialmente a madeira tratada pelo processo ThermoWood® é vendida sob duas formas a Thermo-S e a Thermo-D. Na madeira Thermo-S o S significa estabilidade (stability) e segundo (Ala-Viikari 2008) o inchamento tangencial desta madeira é de cerca de 6%. Esta madeira é bastante estável, mas apenas relativamente durável de acordo com a norma EN 350-1 onde se encontra na classe de durabilidade 3. A letra D em Thermo-D significa durabilidade. Este material apresenta um inchamento menor (5 - 6%) e é classificada como durável de acordo com a norma EN 350-1, preenchendo os requisitos da classe de durabilidade 2. Uma vez que o tratamento é mais intenso a perda de resistência mecânica também é maior.

À semelhança da modificação térmica, na modificação química, o teor de água de equilíbrio diminui significativamente aumentando a estabilidade dimensional e a resistência em relação aos fungos lenhívoros (Militz 1991, Wang et al. 2002, Rowell 2005). Uma das grandes vantagens da acetilação, é a resistência a fungos em contacto com o solo (Rowell et al. 1987, Alfredsen e Westin, 2009, Larsson-Brelid e Westin, 2010) e a diminuição da fotodegradação superficial da madeira por acção da radiação UV.

No que diz respeito à resistência contra térmitas subterrâneas não foi registada uma alteração muito significativa da durabilidade (Rowell et al. 1979) particularmente em ensaios de campo (Militz et al, 2009) enquanto que, em relação aos xilófagos marinhos, apesar de dados iniciais apontarem para melhorias significativas de durabilidade (Johnson e Rowell 1988) estudos mais recentes quer de laboratório quer de campo apontam para um aumento de resistência da madeira modificada por acetilação a crustáceos (*Limnoria* sp.) e moluscos mas com grandes variações em função do tratamento (Larsson-Brelid e Westin, 2010, Klüppel et al, 2010).

Apesar de algumas propriedades mecânicas serem afectadas com este tratamento, as mudanças são geralmente mais moderadas do que na modificação térmica. De acordo com Rowell (2005) a resistência ao corte paralelo ao grão diminuiu, o módulo de elasticidade diminuiu ligeiramente não afectando a resistência ao impacto. A resistência à compressão, a dureza, a tensão no limite proporcional, e o trabalho ao limite proporcional aumentam. A resistência à flexão estática, que diminui significativamente na modificação térmica, chega a aumentar nas resinosas e diminui ligeiramente nas folhosas.

Em relação aos processos de modificação por impregnação existem vários no mercado ainda que apenas a furfurilação apresente uma cota de mercado significativa que mesmo assim, de acordo com Jones et al (2009), é de cerca de 1%. Uma vez mais a diminuição do teor de água de equilíbrio e o aumento da estabilidade dimensional da madeira são as principais propriedades alteradas com esta modificação sendo este aumento proporcional ao aumento de massa. A resistência a fungos também aumenta sendo esta madeira classificada na classe de durabilidade 1 ou 2 segundo a norma europeia EN 350-1, dependendo da madeira original. É possível obter uma boa resistência contra térmitas subterrâneas mas apenas com ganhos de massa acima de 45% (Hadi et al. 2005). Uma das particularidades deste material é que é muito resistente aos xilófagos marinhos o que não acontece com nenhuma das outras modificações, tornando esta madeira indicada para utilizações em obras marítimas (Westin et al. 2006). Uma outra vantagem é o aumento da dureza Brinell que pode ultrapassar os 100% (Epmeier et al. 2004) o que é importante para algumas utilizações finais (p. ex. revestimento de piso). A única propriedade mecânica que é afectada negativamente com este tratamento é a resistência ao impacto (flexão

dinâmica) (Lande et al. 2004; Epmeier et al. 2004). Embora o preço do composto químico seja inferior ao utilizado na acetilação o consumo é muito superior, sendo o preço final desta madeira muito dependente do ganho de massa pretendido.

O tratamento com DMDHEU aumenta significativamente a dureza (Brinell) da madeira (atingindo os 300%) não alterando a tensão de rotura em flexão estática. Além disso a madeira sujeita a este tipo de tratamento é classificada segundo a EN350-1 na classe de durabilidade 1 contra fungos lenhívoros (Krause et al. 2008) o que poderia indiciar um bom comportamento em contacto com o solo. Ensaio de campo (EN 252) parecem confirmar esse comportamento quer em relação a fungos quer a térmitas subterrâneas, embora o tempo de exposição relatado (30 meses e 36 meses) não permita conclusões definitivas sobre o material (Schaffert et al. 2006, Militz et al, 2009). No caso dos xilófagos marinhos, os primeiros resultados de campo com madeira tratada com DMDHEU (24 meses de exposição) também parecem indicar um aumento de durabilidade do material face à madeira não tratada (Klüppel et al, 2010).

O comportamento mecânico face a acções de longa duração (fluência) parece melhorar para alguns tipos de tratamento, como sejam a furfurilação, a acetilação, a impregnação com resina de metil-melamina e o tratamento por calor com óleo (Epmeier 2007)

3. Potencial de utilização na construção

3.1. Utilização para fins estruturais

As perdas de resistência mecânica da madeira modificada termicamente colocam sérias restrições à utilização deste material em aplicações para fins estruturais. Widmann (2009) e Widmann e Beikircher (2010) estudaram o comportamento estrutural de madeira tratada termicamente e a possibilidade da utilização para esta madeira do sistema de classes de resistência implementada na EN 338, utilizando para o efeito ensaios sobre madeira de faia (*Fagus sylvatica* L.). Os ensaios realizados permitiram concluir que os valores do módulo de elasticidade são semelhantes ou ligeiramente superiores às da faia não tratada, o que permitiria a sua inclusão em classes de alta resistência como, por exemplo, D50. No entanto os valores de resistência à flexão são bastante inferiores aos da madeira não tratada o que obrigaria a colocar esta madeira na classe de resistência D30. Foi igualmente verificado que as relações estabelecidas na norma europeia EN 384, para derivação de algumas propriedades mecânicas de madeira maciça em função de outras, não poderiam ser aplicadas à madeira modificada.

A utilização estrutural da madeira modificada termicamente teria assim, de acordo com estes autores, de passar pela caracterização plena do seu comportamento mecânico (incluindo todas as propriedades relevantes para utilização segundo o Eurocódigo 5 – EN 1995-1-1).

Alguma limitação da utilização estrutural deste material advém igualmente da sua maior fragilidade face a esforços dinâmicos, nomeadamente devido ao seu comportamento mais friável relativamente à madeira maciça (Almudena et al 2010).

Uma vez que a acetilação da madeira não diminui significativamente as propriedades mecânicas ela pode ser utilizada para fins estruturais dependendo apenas da madeira original. O único problema deste tratamento é que o custo final da madeira tratada torna inviável este tipo de utilizações. Ainda assim foi recentemente construída uma ponte de madeira Accoya® na cidade de Sneek na Holanda (Bongers et al. 2009) tendo sido os elementos pré-montados e depois colocados na posição final [1]. Grande parte das colas disponíveis comercialmente e usadas no fabrico de lamelados colados para fins estruturais não são adequadas para a madeira acetilada. No entanto os sistemas de colagem podem ser adaptados à madeira modificada (Bongers et al. 2010)

A tabela 1 apresenta um resumo das principais utilizações para fins estruturais da madeira modificada. Apesar de quer a madeira modificada por acetilação (modificação química) quer a modificada por furfurilação (modificação por impregnação), do ponto de vista das propriedades, poderem ter várias utilizações estruturais o seu elevado custo faz com que não sejam competitivas, quer com madeiras tropicais, quer com outros materiais existentes no mercado.

Utilizações		Modificação Térmica	Acetilação	Furfurilação
Interior	Vigas	-	++	++
	Escadas	+	++	++
	Asnas	-	++	++
Exterior	Vigas	-	++	++
	Pontes	-	++	++
	Pequenas estruturas	+	++	++
	Coberturas	+	++	++
	Estruturas em contacto com o solo	+	++	+++
+++ Excelente	++ Adequado	+ Possível	-inadequado	

Tabela 1 – Utilização para fins estruturais das principais modificações da madeira

A grande vantagem da utilização da madeira modificada em relação a outros materiais é a sua sustentabilidade uma vez que se trata de um material renovável. Além disso, não menos importante, é a questão estética, dando a madeira um ar natural às estruturas.

Utilização para fins não estruturais

Apesar de a madeira modificada através do tratamento térmico não ser adequada para utilizações estruturais ela tem uma elevada aplicabilidade na construção. A madeira de resinosas tratada pelo processo thermowood é utilizada em alguns componentes para a construção, painéis para revestimento de paredes e tectos (interiores e exteriores), mobiliário de jardim e outras estruturas exteriores (p. ex pérgolas), portas e janela, estores (figura 1), onde a perda de resistência mecânica não impede que este produto apresente um comportamento adequado. A madeira de folhosas é utilizada sobretudo para revestimento de paredes e tectos, mobiliário para interior e exterior, pisos e persianas ou barreiras acústicas [2]. As vantagens na utilização desta madeira são a boa estabilidade dimensional, importante tanto para utilizações no interior como no exterior e a boa durabilidade que é um factor essencial na utilização da madeira no exterior. Essas vantagens são também as que tornam este material adequado para todas as outras utilizações exteriores anteriormente referidas.

Nos últimos anos, segundo Puttmann et al. (2009), a quota de mercado dos produtos de madeira na construção de janelas diminuiu significativamente na Europa tendo sido substituídos pelo plástico e pelo alumínio. Os custos de manutenção, o tempo de vida útil dos produtos e a diminuição do uso de folhosas tropicais têm sido referidos como razões para esta mudança. A madeira modificada pode constituir uma valiosa alternativa a estes materiais e voltar a colocar a madeira numa posição cimeira deste mercado. A madeira acetilada, fruto da sua elevada resistência às radiações



Figura 1 – Exemplo de aplicação de madeira de espruce modificado termicamente (foto: LN)

ultravioleta, da sua excelente estabilidade dimensional e durabilidade constitui um material competitivo para estas utilizações. Além disso, este tipo de modificação não atribui cor á madeira, possibilitando diversos tipos e tonalidades de acabamento. Apesar de o preço ser elevado, como as janelas não levam quantidades significativas de material, esta madeira torna-se competitiva

com o plástico ou alumínio tendo a vantagem de ser um material reciclável com uma pegada de carbono pequena quando comparada com os outros materiais.

A tabela 2 apresenta um resumo das principais utilizações para fins não estruturais da madeira modificada.

Utilizações		Modificação Térmica	Acetilação	Furfurilação
Interior	Soalhos	++	+++	+++
	Saunas	+++	++	++
	Revestimentos de paredes e tectos	++	++	++
	Mobiliário	++	++	++
	Portas	++	++	++
	Elementos para a construção	++	++	++
Exterior	Revestimento exterior	+++	+++	+++
	Portas	++	+++	++
	Persianas	++	++	++
	Mobiliário de jardim	++	++	++
	Janelas	++	+++	++
	Decks	+++	+++	+++
	Cais marítimos	+	++	+++
	Soalho de barcos	++	++	+++
	Barreiras de som	++	++	++

+++ Excelente

++ Adequado

+ Possível

-Inadequado

Tabela 2 – Utilização para fins não estruturais das principais modificações da madeira

Conclusões

As constantes alterações tecnológicas no campo dos processos de modificação da madeira têm vindo a promover o aparecimento de novos produtos à base de madeira, apresentando como vantagens mais assinaláveis uma maior estabilidade dimensional e durabilidade. A aceitação por parte do mercado deste tipo de material tem vindo a traduzir-se num aumento exponencial das quantidades produzidas, sendo que para utilizações não estruturais, ou exteriores ao mercado da construção, a madeira modificada apresenta já uma considerável cota do mercado principalmente nos países nórdicos.

A escolha do método a utilizar vai depender da utilização final a dar à madeira de acordo com as vantagens e desvantagens de cada um. A madeira acetilada é mais adequada para situações em que a quantidade de madeira é reduzida mas em que uma boa durabilidade, estabilidade dimensional e resistência às radiações ultra-violeta são necessárias como é o caso da fabricação de aros de portas e janelas. A modificação térmica apresenta-se como um material competitivo para utilizações não estruturais devido ao seu baixo custo, quando comparada com os outros tipos de madeira modificada. A madeira furfurilada tem imensas potencialidades em utilizações marítimas pelo facto de ser resistente aos xilófagos marinhos.

Dos diversos produtos disponíveis somente a madeira sujeita a modificação térmica apresenta limitações sérias à sua utilização estrutural.

É espectável que nos próximos anos venhamos a assistir a um aumento significativo de utilizações de madeira modificada na construção, tanto em utilizações estruturais como não estruturais.

Referências Bibliográficas

- Ala-Viikari (2008). "ThermoWood®: Situation report, ThermoWood® Concept," *Proc. 5th European TMT-Workshop 2008*, Dresden.
- Almudena, M.; Majano, M.; Hughes M. and Fernández-Cabo, J L. (2010). "A fracture mechanics study of thermally modified beech for structural applications". *Proc. 11th World Conference on Timber Engineering*.
- Bongers, F.; Alexander, J.; Jorissen, A.; Blaß, H.; Hill, C. (2010). "Acetylated wood in structural applications" *Proc. 5th European Conference on Wood Modification*, September 20-21, 2010, Riga, Latvia.
- Dirol, D. and Guyonnet, R. (1993). "Durability by rectification process," *In: International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes*, Nº IRG/WP 93-40015.
- Epmeier, H.; Johansson, M.; Klinger R. and Westin, M. (2007). "Bending creep performance of modified timber". *Holz als Roh und Werkstoff* 65: 343–351.
- Epmeier, H.; Westin, M. and Rapp, A. (2004). "Differently modified wood: Comparison of some selected properties". *Scandinavian Journal of Forest Research* 19(suppl 5):31-37.
- Esteves, B. and Pereira, H (2009) "Wood modification by heat treatment: a review" *BioRes.* 4(1), 370-404.
- Esteves, B. M.; Domingos, I. J. and Pereira, H. M. (2008). "Pine wood modification by heat treatment in air" *Bioresources.* 3(1), 142-154.
- Esteves, B.; Domingos, I. and Pereira, H. (2007a). "Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170-200°C". *Forest Products Journal*, 57 (1/2), 47-52.
- Esteves, B.; Nunes, L. and Pereira, H. (2010). "Properties of furfurylated Pinus pinaster wood" *European Journal of Wood and Wood Products Online First* •DOI: 10.1007/s00107-010-0480-4.
- Esteves, B.; Velez Marques, A.; Domingos, I. and Pereira, H. (2007b) "Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood" *Wood Science and Technology*.41:193-207. DOI : 10.1007/s00226-006-0099-0.
- Hadi, Y.; Westin, M. and Rasyid, E. (2005). "Resistance of furfurylated wood to termite attack", *Forest Products Journal*, 55 (11):85-88.
- Hakkou, M.; Pétrissans, M.; Gérardin, P.; and Zoulalian, A. (2006). "Investigation of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood," *Polymer Degradation and Stability*. 91, 393-397.
- Henriksson, M.; Sterley, M.; Danvind, J. (2009). "Glulam posts with thermally modified spruce for outdoor applications" *Proc.;4th European Conference on Wood Modification*, April 27-29. Stockholm, Sweden.
- Johnson, B. R. and Rowell, R. M. (1988). "Resistance of chemically-modified wood to marine borers" *Material und Organismen* 23(2):147–156.
- Jones, D.; Carmo, J.; Nunes, L.; Kegel, E. (2009). "Products meeting needs - applying wood modification to its fullest potential" *Proc.;4th European Conference on Wood Modification*, April 27-29. Stockholm, Sweden
- Kamdern, D.; Pizzi, A.; and Jermannaud, A. (2002). "Durability of heat-treated wood," *Holz als Roh und Werkstoff*. 60, 1-6
- Kim, G.; Yun, K.; and Kim, J. (1998). "Effect of heat treatment on the decay resistance and the bending properties of radiata pine sapwood," *Material und Organismen* 32(2), 101-108.
- Klüppel, A; Militz, H; Cragg, S, and May, C. (2010). "Resistance of modified wood to marine borers. *Proc. 5th European Conference on Wood Modification*. Ed. by , C.A.S. Hill, H. Militz and B. Andersons, Latvian State Institute of Wood Chemistry: 389-396.
- Krause, A.; Wepner, F.; Xie, Y.; Militz, H. (2008). "Wood protection with dimethyloldihydroxy-ethyleneurea and its derivatives. In: Schultz TP, Militz H, Freeman MH, Goodell B, Nicholas DD (eds) Development of commercial wood preservatives. Efficacy, environmental, and health issues. American Chemical Society, Washington DC, pp 356–371.
- Lande, S.; Westin, M. and Schneider, M. (2004). "Properties of furfurylated wood" *Scand J Forest Res*, 19(Supp.5), 22-30.
- Larsson-Brelid, P.; Westin, M. (2010). "Biological degradation of acetylated wood after 18 yeards in ground contact and 10 years in marine water" *International Research Group on Wood Protection*, Document No IRG/WP 10-40522. IRG Secretariat, Stockholm. 7pp.
- Militz, H. (1991). "Improvements of stability and durability of beechwood (*Fagus sylvatica*) by means of treatment with acetic anhydride" *Proc. International Research Group on Wood Preservation*, 22nd Annual Meeting, Kyoto, Japan, Document No: WP 3645.
- Militz, H. (2002). "Heat treatment of wood: European processes and their background," *In: International Research Group Wood Pre, Section 4-Processes*, Nº IRG/WP 02-40241.
- Militz, H.; Peters, B.; and Fitzgerald, J. (2009). "Termite resistance of some modified wood species." *International Research Group on Wood Protection*, Document No IRG/WP 09-40449. IRG Secretariat, Stockholm. 11pp.
- Nunes, L.; Nobre, T.; and Rapp, A. (2004). "Thermally modified wood in choice tests with subterranean termites," *Proc. COST E37*, Reinbeck.

- Plaschkies, K; Scheiding, W; Jacobs, K and Weiß, B. (2010). "Durability of thermally modified timber assortments against fungi – Results from a 6 year field test in comparison with results from lab tests" *Proc. 5th European Conference on Wood Modification*. Ed. by , C.A.S. Hill, H. Militz and B. Andersons, Latvian State Institute of Wood Chemistry: 119-126.
- Puttmann, S.; Krause, A.; Pilgård, A.; Treu, A.; Militz, H. (2009). "Furfurylated Wood for Wooden Window Constructions" *Proc. 4th European Conference on Wood Modification*, April 27-29. Stockholm, Sweden
- Rowell, R. (2005). "Chemical Modification of Wood". USDA, Forest Service, *Forest Products Laboratory, and Department of Biological Systems Engineering*, University of Wisconsin, Madison, WI
- Rowell, R. M. and Konkol, P. (1987). "Treatments that enhance physical properties of wood" USDA, *Forest Service, Forest Products Laboratory Gen. Technical Report FPL-GTR-55*, Madison, WI.
- Rowell, R. M.; Hart, S.V.; and Esenther, G.R. (1979). "Resistance of alkylene-oxide modified southern pine to attack by subterranean termites" *Wood Sci.* 11(4):271–274
- Tjeerdsma, B.; Bongers, F. (2009). "The Making of a Traffic Timber Bridge of Acetylated Radiata Pine " *Proc. 4th European Conference on Wood Modification*, April 27-29. Stockholm, Sweden
- Tjeerdsma, B.; Boonstra, M.; and Militz, H. (1998). "Thermal modification of non-durable wood species. Part 2. Improved wood properties of thermally treated wood," *International Research Group on Wood Pre*. Document no. IRG/WP 98- 40124.
- Tjeerdsma, B.; Stevens, M.; Militz, H. and Van Acker, J. (2002). "Effect of process conditions on moisture content and decay resistance of hydro-thermally treated wood," *Holz. Holzverwert.* 5, 94-99.
- Wang, C.-L.; Lin, T.-S, and Li, M.-H. (2002). "Decay and termite resistance of planted tree sapwood modified by acetylation" *Taiwan Journal of Forest Science* 17(4):483–490.
- Westin, M.; Rapp, A. and Nilsson, T. (2006) "Field test of resistance of modified wood to marine borers". *Wood Mater Science Engineering*, 1:34-38.
- Widmann, R. (2009). "Thermally Modified Beech as a Structural Material: Allocation to European Strength-Classes and Relevant Grading Procedures". *Proc. 4th European Conference on Wood Modification*.
- Widmann, R.; Beikircher, W. (2010). "Thermally modified beechwood as a structural material: allocation to european strength classes and relevant grading procedures" *Proc.11th World Conference on Timber Engineering*.
- Yildiz, S. (2002). "Effects of heat treatment on water repellence and anti-swelling efficiency of beech wood," *In: International Research Group Wood Preservation*, Section 4-Processes, N° IRG/WP 02-40223.

Infografia

- [1] <http://www.accoya.com>
[2] <http://www.thermowood.fi>
[3] <http://www.kebony.com>