

Utilização de promotores de adesão no fabrico de estruturas de madeira lamelada colada de Pinho bravo

Nádia Lampreia

MSc, Eng^a Civil,
(Lisboa, Portugal)

nadia.lampreia@gmail.com



Helena Cruz

PhD, Investigadora Principal,
Laboratório Nacional de Eng.Civil
(Lisboa, Portugal)

helenacruz@lnec.pt



J. Almeida Fernandes

Especialista do LNEC,
Investigador Coordenador,
Laboratório Nacional de Eng.Civil
(Lisboa, Portugal)

almeida.fernandes@lnec.pt



João Custódio

PhD, Bolseiro de Pós-doc,
Laboratório Nacional de Eng.Civil
(Lisboa, Portugal)

jcustodio@lnec.pt



Palavras-chave - estruturas; madeira lamelada colada; Pinho bravo; promotores de adesão; produtos preservadores; delaminação.

Keywords - structures; glued laminated timber; Maritime pine; adhesion promoters; timber preservatives; delamination.

RESUMO

A utilização de madeira tratada de Pinho bravo nacional (*Pinus pinaster* Ait.) no fabrico de estruturas lameladas coladas parece ser uma alternativa interessante para situações de aplicação que requeiram madeira com grande durabilidade natural ou conferida. No entanto, de acordo com estudos anteriores realizados no LNEC, os elementos lamelados colados realizados com madeira de Pinho bravo tratada em profundidade apresentaram boa resistência mecânica, mas manifestaram tendência para delaminar, o que implica cuidados especiais no seu fabrico.

Neste trabalho pretendeu-se avaliar a viabilidade da colagem de madeira de Pinho bravo não tratada e tratada em profundidade com dois produtos preservadores à base de azóis de cobre adequados à Classe de Risco 3. Procurou-se igualmente verificar a viabilidade da utilização de promotores de adesão para melhorar a resistência e a durabilidade (resistência à delaminação) de vigas de madeira lamelada colada de Pinho bravo.

O trabalho experimental realizado envolveu a execução de vigas de pequena dimensão usando madeira de Pinho bravo não tratada e tratada em profundidade com dois tipos de produto preservador, usando uma cola adequada a ambiente exterior (tipo PRF) e aplicando previamente à colagem um promotor de adesão (n-HMR).

O efeito dos diversos parâmetros considerados no estudo foi avaliado mediante ensaios de corte e de delaminação pela junta de colagem e os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Verificou-se que a cola utilizada e o processo de fabrico seguido permitiram obter juntas coladas com bom desempenho, mesmo sem recurso ao promotor de adesão.

Adicionalmente, concluiu-se que a utilização de ambos os produtos preservadores à base de azóis de cobre, com e sem boro, parecem ser alternativas viáveis em termos de compatibilidade com a colagem, dada a sucessiva proibição dos tradicionais produtos preservadores da madeira no espaço Europeu.

ABSTRACT

The use of preservative treated Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) timber in the manufacture of glued laminated timber structures seems as interesting alternative for applications that require high natural or acquired durability.

However, according with previous studies carried out at LNEC, glulam members produced from deep treated Maritime pine timber presented high strength but a tendency to delaminate, thus requiring special care in their manufacture.

This study aimed to evaluate the viability of using adhesion promoters to improve strength and durability (delamination strength) of glulam beams made from Maritime pine timber, either untreated or treated for use in service class 3 (uncovered exterior) applications.

The experimental work developed involved the fabrication of small length beams using Maritime pine timber, both untreated and impregnated with two types of preservatives, using an adhesive suitable for external environments (PRF type) and applying an adhesion promoter (n-HMR) to timber prior to gluing.

The effects of several parameters considered in this study were evaluated by shear and delamination tests of the glue lines. Even in the case of glulam made without the adhesion promoter the test results were very good, showing the suitability of this specific PRF adhesive for the job.

Additionally, it was concluded that the use of new preservative products based on copper azole formulations is a viable alternative, given the progressive restrictions to traditional wood preservatives in the European market.

1. Introdução

As estruturas de madeira lamelada colada têm tido uma utilização crescente em Portugal, revelando-se uma opção bastante interessante, quer como material de substituição de madeira maciça em estruturas leves, quer como alternativa a estruturas de aço ou betão, no caso de grandes naves industriais ou equipamentos desportivos.

Embora o conceito da sobreposição de elementos de madeira ligados para formar elementos de grande secção tenha cerca de duzentos anos e a construção das primeiras estruturas de madeira lamelada colada tenha surgido há cerca de cem anos, em Portugal estas estruturas são ainda muito recentes (Cruz, 2007).

Em Portugal, o interesse na utilização de Pinho bravo em estruturas deste tipo justifica-se por poder constituir uma alternativa às espécies importadas utilizadas normalmente neste tipo de estruturas.

Em trabalhos como o de Franco da Costa (1978), Cruz (1985), Pontífice de Sousa (1990) e Gaspar (2005, 2010), ficou comprovada a aptidão do Pinho bravo para estruturas lameladas coladas, tanto ao nível do comportamento da colagem (idêntico ao de outras espécies correntemente utilizadas) como ao nível da resistência do próprio material (Gaspar, F., 2005).

Gaspar, em 2005, verificou a viabilidade da utilização de madeira de Pinho bravo tratada com produto preservador à base de azóis de cobre (TANALITH E 3492) em profundidade para aplicação em estruturas lameladas coladas com uma cola tipo PRF (fenol-resorcinol-formaldeído), tendo concluído que o tratamento preservador prejudica o comportamento do plano de colagem em relação à resistência à delaminação. O mesmo autor, em 2010, experimentou modificar o procedimento de colagem através da utilização de diferentes temperaturas de cura (20°C, 30°C e 45°C), tendo concluído que a resistência à delaminação aumenta com a temperatura de cura, sendo essa uma via possível para obter adequada qualidade de colagem em madeira de Pinho bravo tratada com produto preservador à base de azóis de cobre.

Dado que não é industrialmente prática a adopção de temperaturas de cura elevadas, pretendeu-se estudar no presente trabalho a eventual vantagem de utilização de promotores de adesão no fabrico de estruturas lameladas coladas de Pinho bravo e, dada a progressiva introdução no mercado de produtos preservadores à base de azóis de cobre sem boro, pretendeu-se igualmente verificar a influência de diferentes produtos preservadores.

2. Uso de promotores de adesão

2.1. Motivação

A durabilidade das ligações coladas representa um problema muito relevante na indústria de elementos lamelados de madeira, principalmente no que respeita a madeiras densas, resinosas ou tratadas com produtos preservadores.

De acordo com os resultados de Gaspar, F. (2005, 2010), o aumento da pressão de aperto durante a colagem não resolve a maior tendência para delaminar da madeira de Pinho bravo tratada com aquele produto preservador, sobretudo para as retenções mais elevadas. Embora o aumento da temperatura de cura da cola tenha melhorado o desempenho da junta colada, pretendeu-se avaliar outras vias possíveis.

A preparação das superfícies da madeira com um produto promotor de adesão, antes da aplicação da cola é considerada uma via promissora para o aumento da resistência à delaminação e ao corte nas ligações coladas (Vick, 1995).

Na indústria de madeiras o promotor de adesão mais estudado tem sido o resorcinol hidroximetilado (HMR), cuja aplicação à madeira de Pinho bravo tratada com produtos preservadores se procurou estudar.

2.2. Funcionamento do HMR como promotor de adesão

Após a descoberta e aplicação das primeiras formulações do HMR, muitas foram as dúvidas que surgiram em relação ao mecanismo de ligações químicas covalentes que poderiam ser formadas entre a cola e o HMR e, possivelmente, entre o HMR e a madeira. Depois de diversos estudos, Christiansen (2005) revelou resultados que põem a hipótese de que o aumento de durabilidade das linhas de colagem dos lamelados colados, aplicando antes da cola o primário HMR, é conseguido através de estabilização mecânica das superfícies de madeira.

Recentemente, Szczurek et al. (2010) demonstraram que o mecanismo de ligação entre o promotor de adesão hydroxymethylated resorcinol (HMR) e as colas de poliuretano, cujo objectivo é melhorar o desempenho da colagem de madeira, depende da formação inicial das ligações de uretano entre os grupos de methylol do HMR e os grupos ainda activos de isocianato da cola de poliuretano, e pontualmente, da formação de ligações de uretano entre os grupos de fenol-resorcinol hydroxyl e os grupos de isocianato da cola de poliuretano (PU).

A vasta investigação realizada no Forest Products Laboratory tem demonstrado que, quando aplicado o HMR como primário nas superfícies de madeira antes da colagem, há um aumento da resistência à delaminação, da resistência ao corte, da percentagem de rotura pela madeira e da resistência à deformação (Custódio et al., 2008).

Segundo Custódio et al. (2008), a técnica de aplicação do HMR nas superfícies de madeira parece estar apta para aplicação industrial para a maioria de espécies de madeira e colas. No entanto, continuam a ser necessários mais estudos que clarifiquem alguns aspectos sobre a acção do mecanismo de ligação do HMR.

3. Trabalho experimental

3.1. Objectivos

Os objectivos do trabalho experimental desenvolvido foram: a) avaliar a viabilidade da colagem de madeira lamelada colada de Pinho bravo, não tratada e com tratamento preservador em profundidade adequado à Classe de Risco 3, prevendo formulações com e sem boro; e b) avaliar a eventual melhoria resultante da utilização de promotores de adesão no fabrico de elementos lamelados colados.

Nesse sentido, o trabalho experimental foi realizado com madeira de Pinho bravo não tratada e tratada em profundidade com dois tipos de produto, TANALITH E 3492 e TANALITH E NB, ambos aplicados de modo a constituir um tratamento adequado à Classe de Risco 3 definida na EN 335-2 (2006), sem e com recurso a aplicação prévia de um promotor de adesão, em duas concentrações, 5% e 10%. O objectivo deste trabalho foi então avaliar a integridade da linha de

colagem e concluir sobre o efeito da aplicação do promotor de adesão comparativamente com a colagem sem promotor de adesão, tanto para a madeira não tratada como para a madeira tratada em profundidade, bem como avaliar o efeito dos dois tratamentos na durabilidade das juntas coladas (Lamprea, N, 2010)

Devido às restrições (Decreto-Lei nº 121/2002 de 3 de Maio) relativas à utilização de produtos tradicionais como o CCA para a preservação da madeira para construção, procurou-se seleccionar madeira tratada com produtos alternativos existentes no mercado, nomeadamente produtos preservadores à base de azóis de cobre, com e sem boro. O tratamento em profundidade teve em vista as retenções do produto adequadas à Classe de Risco 3, uma vez que no presente estudo o objectivo era averiguar o comportamento de lamelados colados em ambiente exterior.

Pretendeu-se desenvolver uma campanha experimental que incluísse uma série de ensaios para averiguar a melhoria da resistência e da durabilidade das linhas de cola com a aplicação do promotor de adesão em duas concentrações, tendo sempre como referência iguais provetes mas sem promotor de adesão. Esta abordagem foi feita em simultâneo para madeira não tratada e tratada com os dois produtos preservadores. A campanha experimental compreendeu a fabricação laboratorial de vigas lameladas coladas e a realização de ensaios de corte pela junta colada e ensaios de delaminação, de acordo com as normas NP EN 392 (2002) e EN 391 (2001), respectivamente.

A pressão de aperto foi seleccionada com base nos resultados de estudos anteriores, nomeadamente o estudo de Gaspar, F. (2005), assim como o tipo de cola a utilizar no fabrico dos elementos lamelados colados (cola tipo PRF) de modo a conseguir obter uma base de comparação.

3.2. Materiais e métodos

Foi utilizada madeira tratada industrialmente com produtos alternativos ao CCA, nomeadamente o TANALITH E 3492 com retenção de 18 kg/m^3 – de acordo com o documento de homologação DH 844 (2006) – (adiante designado por tratamento B – contendo ácido bórico) e o TANALITH E NB com retenção de $15,6 \text{ kg/m}^3$ – de acordo com o certificado CTB-P+ (2009) – (adiante designado por tratamento NB – sem ácido bórico).

As dimensões nominais das tábuas de madeira de Pinho bravo (*Pinus pinaster* Ait.) foram $0,04 \text{ m} \times 0,16 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}$. Constituíram-se assim os 3 lotes de madeira: madeira sem tratamento (ST); madeira com tratamento B (TB); madeira com tratamento NB (NB).

Antes da selecção das tábuas para formar os 3 lotes, a madeira foi condicionada até um teor de água cerca de 11%. Procurou-se que em cada lote a massa volúmica média fosse semelhante a fim de neutralizar o eventual efeito da massa volúmica nos resultados. A madeira foi aparelhada a menos de 24h antes da aplicação da cola ou do promotor de adesão.

Para a colagem das tábuas de madeira foi utilizada uma cola estrutural adequada a ambiente exterior (classe de serviço 3) do tipo PRF (fenol-resorcinol-formaldeído) da Dynea de referência *Prefere 4040* e endurecedor – *Prefere 5839*, diferente das colas utilizadas por Gaspar (2005, 2010). O rendimento da cola recomendado pelo fabricante era 350 g/m^2 .

A cola foi aplicada à trincha, de forma rápida, dada a limitação do respectivo tempo em “aberto” indicado pelo fabricante e comprovado na prática (cerca de 70 minutos para a temperatura ambiente de 20°C).

Foi utilizado um promotor de adesão – versão novolac do resorcinol hidroximetilado (n-HMR) – sobre as tábuas destinadas a 4 das 6 vigas de cada lote, considerando duas concentrações diferentes (5% em 2 vigas por lote e 10% nas outras 2). No total, foram feitas 18 vigas de madeira lamelada colada, cada uma constituída por 4 lamelas ($1,00 \text{ m} \times 0,03 \text{ m} \times 0,12 \text{ m}$), com um peso aproximado de 6 kg cada viga. Para cada combinação tratamento preservador/promotor de adesão foram fabricadas duas réplicas.

A pressão de aperto adoptada foi de 0,6 MPa tendo por base os resultados obtidos por Gaspar, F. (2005).

As vigas foram fabricadas em duas séries de 3, colocadas em pórticos de reacção, apertados com varões roscados devidamente calibrados, sendo a pressão de aperto mantida durante cerca

de 20 horas, num ambiente com $T=20^{\circ}\text{C}$ e $\text{HR}=65\%$. Após este período, a pressão de aperto foi retirada, permitindo assim que os mesmos pórticos servissem para as 6 vigas seguintes.

Após retirada a pressão de aperto da última prensagem, as 18 vigas foram deixadas no ambiente descrito anteriormente, por um período de cerca de uma semana, sendo então retiradas para aparelhamento e corte de provetes.

De cada viga foram retirados 7 provetes de delaminação e 14 provetes de corte (dos quais apenas foram ensaiados 7 provetes, um de cada par). A zona da viga para extracção dos provetes de corte foi escolhida convenientemente, de modo a não coincidir com a existência de nós ou de outros defeitos não desejáveis.

As dimensões aproximadas dos provetes de delaminação eram: 13 mm de largura, 75 mm de espessura (direcção das fibras) e 120 mm de altura. As dimensões aproximadas dos provetes de corte eram: 50 mm de largura, 50 mm de espessura (direcção das fibras) e 120 mm de altura.

3.3. Ensaio de delaminação

Estes ensaios foram realizados segundo o método A, que consiste na colocação dos provetes de delaminação numa autoclave, aplicando 2 ciclos de vácuo (70 kPa) e pressão (~ 600 kPa) durante 2h, seguidas de 22h de secagem brusca a 65°C , conforme é prescrito na norma EN 391 (2001). Esta estabelece que, após cada ciclo (no fim do 2º ciclo e do 3º ciclo) deverá ser avaliada a delaminação das linhas de cola, num período de tempo não superior a 1 hora após a secagem em estufa dos provetes. Nesse sentido, há que medir os comprimentos onde se observou separação de junta de colagem, em ambas as faces do provete perpendiculares à direcção do fio.

Segundo a norma NP EN 386 (2009), no final do 2º ciclo, a delaminação total por provete deve ser inferior a 5% e os valores individuais de delaminação por linha de cola devem ser inferiores a 40%. Como se pretendia comparar os resultados com trabalhos anteriores, fez-se um 3º ciclo de ensaio e verificou-se que os provetes dos três lotes (ST, TB e NB) cumpriram igualmente os limites (10%), sendo que o maior número de provetes com delaminação correspondeu aos provetes sem promotor de adesão (no caso dos lotes ST e NB) e com promotor de adesão a 5% (no caso do lote TB) (tabela 1).

Tipo de tratamento	Concentração de promotor de adesão (n-HMR)	Delaminação média após o 2º ciclo (%)	Delaminação média após o 3º ciclo (%)
Sem tratamento (ST)	0%	0,78	1,26
	5%	0,20	0,25
	10%	0,08	0,11
Com tratamento B (TB)	0%	0,44	0,71
	5%	0,75	0,85
	10%	0,13	0,17
Com tratamento NB (NB)	0%	0,90	1,24
	5%	0,38	0,70
	10%	0,05	0,14

Tabela 1 – Valores médios de delaminação (%)

Verifica-se que, apesar de os valores em percentagem serem muito reduzidos (inferiores a 2%), existe uma diminuição significativa da percentagem de delaminação média com a aplicação de promotor de adesão (n-HMR) a 10%.

Verifica-se que, em geral, o aumento da concentração de promotor de adesão (n-HMR) reduz a delaminação em todos os lotes, exceptuando o caso da madeira com tratamento B e com promotor de adesão na concentração de 5%.

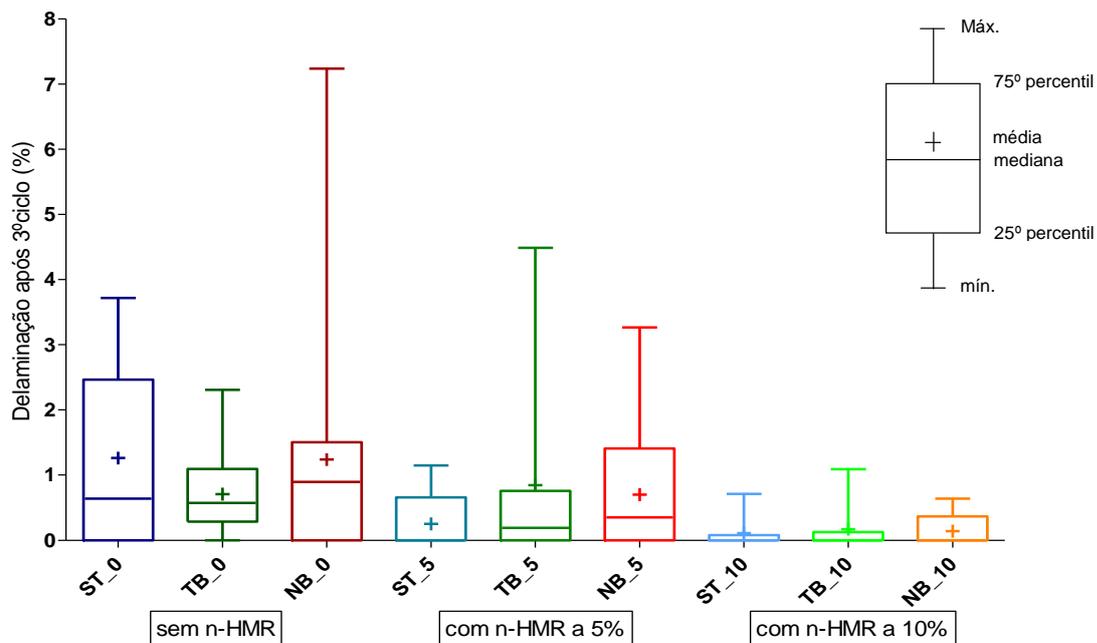


Figura 1 – Comparação dos valores de delaminação (após 3º ciclo) para provetes dos três lotes (ST, TB e NB) e com três concentrações de promotor de adesão (0%; 5% e 10%)

Após o 3º ciclo de delaminação, observa-se (figura 1) um decréscimo da percentagem média de delaminação com o aumento da concentração de promotor de adesão, com excepção do valor médio obtido para os provetes do lote com tratamento B com 5% (TB_5) de concentração de promotor de adesão. Na mesma figura observam-se valores médios de delaminação idênticos para os provetes sem tratamento e com tratamento NB, sendo a percentagem média de delaminação inferior para os provetes com tratamento B.

No caso dos provetes com promotor de adesão a 5%, os lamelados colados com tratamento B apresentam valores máximos de delaminação superiores aos outros dois lotes (ST e NB). No entanto, os lamelados colados com tratamento NB e com tratamento B apresentam uma percentagem média de delaminação idêntica.

No caso dos provetes com promotor de adesão a 10%, os valores de delaminação são bastante mais baixos do que nas situações anteriores (sem promotor de adesão e com promotor de adesão a 5%), sendo que as percentagens médias de delaminação são próximas de zero para os três lotes (ST, TB e NB).

3.4. Ensaios de corte pelos planos de colagem

O ensaio é objecto da norma portuguesa NP EN 392 (2002), cujo princípio consiste em aplicar uma tensão de corte no plano de colagem até ocorrer a rotura.

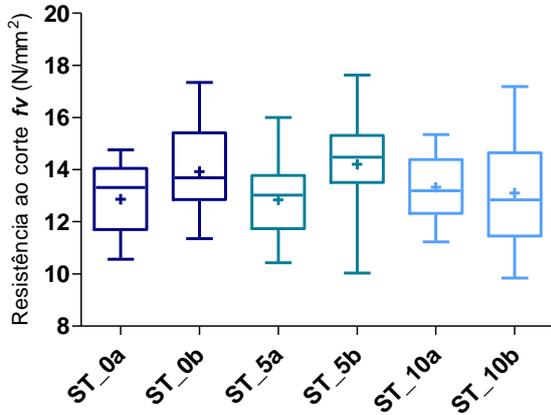
A resistência ao corte obtida deve ser observada em conjunto com a percentagem de rotura pela madeira, de modo a controlar o cumprimento dos requisitos indicados na norma NP EN 386 (2009), apresentados na tabela 2.

	Média			Valores individuais		
	6	8	$f_v \geq 11$	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Resistência ao corte f_v em N/mm^2						
Percentagem mínima de rotura pela madeira, % ¹⁾	90	72	45	100	74	20

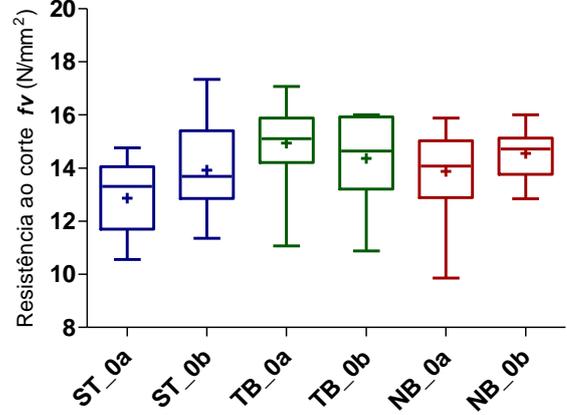
¹⁾ Para os valores médios, a percentagem mínima de rotura pela madeira quando a resistência ao corte for $f_v \geq 8,0 N/mm^2$, é: $144 - (9 f_v)$. Para os valores individuais a percentagem mínima de rotura pela madeira, quando a resistência ao corte for $f_v \geq 6,0 N/mm^2$, é: $153,3 - (13,3 f_v)$.

Tabela 2 – Percentagens mínimas de rotura pela madeira, relativamente à resistência ao corte (NP EN 386, 2009)

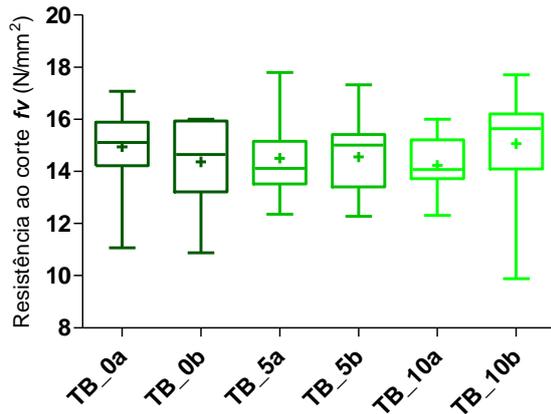
Pode-se verificar (figuras 2 e 3) que todos os pares de valores resistência ao corte/percentagem de rotura obtidos pela madeira, verificaram os requisitos da norma NP EN 386 (2009). Numa apreciação geral, os maiores valores de resistência ao corte correspondem aos provetes com tratamento B. Em todos os provetes a percentagem de rotura pela madeira foi superior a 99%, o que leva a concluir sobre a qualidade da cola utilizada no fabrico das vigas lameladas coladas. Relativamente à influência da aplicação de promotor de adesão, os resultados não são consistentes entre os vários lotes ensaiados.



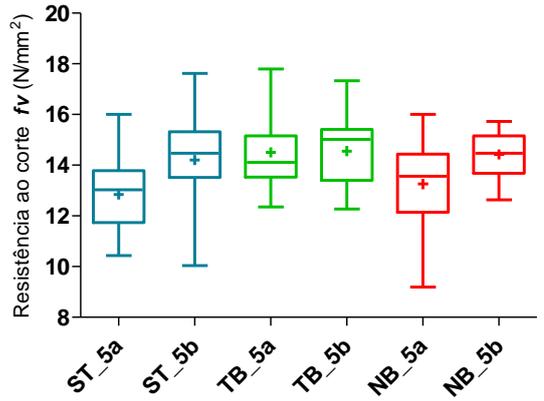
a) Lamelados colados sem tratamento



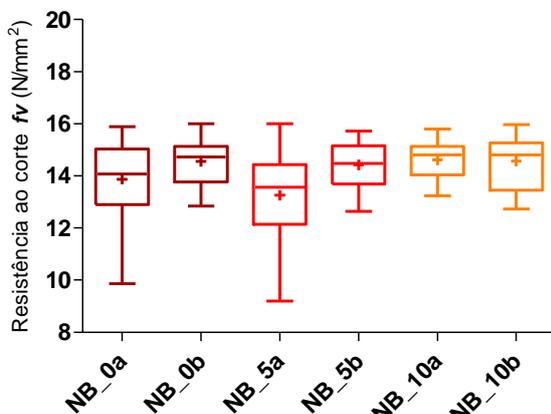
a) Lamelados colados sem promotor de adesão



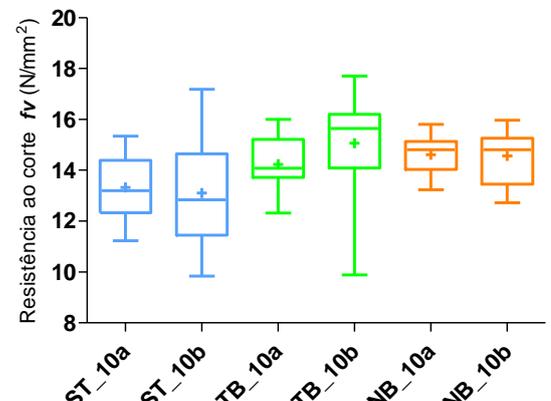
b) Lamelados colados com tratamento B



b) Lamelados colados com promotor de adesão a 5%



c) Lamelados colados com tratamento NB



c) Lamelados colados com promotor de adesão a 10%

Figura 2 – (à esquerda) Influência do promotor de adesão (a 0%, a 5% e a 10%) na resistência ao corte f_v nos três lotes (ST, TB e NB)

Figura 3 – (à direita) Comparação de valores de resistência ao corte dos vários lotes (ST, TB e NB) para lamelados colados sem e com promotor de adesão (a 5% e a 10%)

4. Conclusões

Já vários autores reconheceram a madeira de Pinho bravo como material com aptidão para estruturas de madeira lamelada colada. Em Portugal, a utilização desta espécie de madeira em estruturas lameladas coladas tem particular interesse por poder constituir uma alternativa viável às espécies importadas usadas actualmente neste tipo de estruturas, nomeadamente a madeira de Espruce e de Casquinha.

Quando o objectivo da estrutura de madeira é que esta seja aplicada em condições de serviço severas (Classes de Risco 3 e 4), a utilização de madeira de Pinho bravo está condicionada a adoptar um tratamento preservador em profundidade.

A progressiva introdução no mercado de produtos preservadores à base de azóis de cobre sem boro motivou a verificação da influência de dois produtos deste grupo (com e sem boro).

No presente estudo foi utilizada uma cola do tipo PRF – *Prefere 4040* e endurecedor *Prefere 5839* da Dynea (de referência diferente das anteriores, dado que a empresa Dynea deixou de fabricar a referência utilizada nos trabalhos anteriores de Gaspar (2005, 2010)). Foi usada madeira de Pinho bravo não tratada e com dois tipos de tratamento (TANALITH E 3492 e TANALITH E NB) com retenções adequadas à Classe de Risco 3, respectivamente 18 kg/m³ e 15,6 kg/m³.

Tratamento preservador	Promotor de adesão	Ensaio de corte		Ensaio de delaminação	
		valor médio da resistência ao corte f_v (N/mm ²)	% de rotura pela madeira (*)	Método A - após 3 ciclos	
				delaminação total (%) (**)	delaminação máx. de 1 linha de cola (%) (***)
sem tratamento	sem n-HMR	13,4	≥ 45	1,9	7,7
	n-HMR a 5%	13,5		0,7	7,7
	n-HMR a 10%	13,2		0,5	3,5
com TANALITH E 3492 (18 kg/m ³)	sem n-HMR	14,7	≥ 45	0,0	-
	n-HMR a 5%	14,5		0,0	-
	n-HMR a 10%	14,7		0,2	2,1
com TANALITH E NB (15,6 kg/m ³)	sem n-HMR	14,2	≥ 45	0,6	1,9
	n-HMR a 5%	13,8		0,8	3,8
	n-HMR a 10%	14,6		1,7	8,8
				0,0	-
				0,2	1,5
				0,2	1,2
				0,9	2,3
				1,6	9,2
				1,3	3,8
				0,1	1,5
				0,3	1,9
				0,0	-

(*) - valor mínimo de % de rotura pela madeira é de 45% para $f_v \geq 11$ N/mm² para a norma NP EN 386 (2009)

(**) - valor máximo de delaminação é de 10% no método A (após 3 ciclos) para a norma NP EN 386 (2009)

(***) - valor máximo de delaminação para uma linha de cola é de 40% para a norma NP EN 386 (2009)

Tabela 3 – Percentagens mínimas de rotura pela madeira, relativamente à resistência ao corte (NP EN 386, 2009)

O trabalho experimental realizado permitiu concluir que não existem grandes diferenças, em termos de resistência ao corte e resistência à delaminação, quer entre estes dois produtos, quer entre a madeira tratada e não tratada (tabela 3).

No que respeita à delaminação, os resultados são bastante bons, uma vez que todos os provetes das vigas lameladas coladas dos 3 lotes (sem tratamento, com tratamento B e com tratamento NB) obtiveram valores de delaminação aceitáveis.

Pode dizer-se que, em termos de viabilidade da colagem, a utilização deste tipo de produtos, à base de azóis de cobre, são uma alternativa viável no espaço Europeu, dada a sucessiva proibição dos tradicionais produtos preservadores da madeira.

Concluiu-se que a pressão de aperto sugerida pela norma de fabrico e por estudos anteriores (0,6 MPa) foi suficiente para obter bons resultados, com cura a 20°C de temperatura e 65% de humidade relativa.

Verificou-se que a colagem de madeira de Pinho bravo, sem e com tratamento preservador (nomeadamente com TANALITH E 3492 e com TANALITH E NB) com a cola estudada (“Prefere 4040” e endurecedor “Prefere 5839”) conduz a resultados aceitáveis em termos de resistência ao corte e à delaminação. Embora se tenha verificado a melhoria da resistência à delaminação dos lamelados colados com a utilização de promotor de adesão (n-HMR), os resultados obtidos relativamente aos ensaios realizados, revelaram desnecessária a utilização do n-HMR. Contudo, conviria analisar se a presença do mesmo promotor de adesão (n-HMR) provoca diferenças de desempenho face a outras situações de exposição, designadamente em exposição natural, e a lamelados colados fabricados com outras colas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio às empresas: Grupo Pravin, que gentilmente disponibilizou a madeira de Pinho bravo tratada com TANALITH E 3492; Carmo, que gentilmente disponibilizou a madeira de Pinho bravo tratada com TANALITH E NB; Dynea, que gentilmente forneceu a cola estrutural “Prefere 4040” e respectivo endurecedor “Prefere 5839”.

Referências Bibliográficas

Christiansen, A.W (2005), “Chemical and mechanical aspects of HMR primer in relationship to wood bonding”, *Forest Products Journal*, vol. 55, p. 73-78, Madison.

Cruz, H. (1985), “Aplicação da madeira de Pinho bravo em estruturas lameladas coladas. Ensaio de colagem para uso em condições de exposição exterior”, *Relatório 267/85-NM*, LNEC, Lisboa.

Cruz, H.(2007), “Estruturas de madeira lamelada colada em Portugal. Instrumentos para a garantia da qualidade”, *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas*, Série II, nº1, LNEC, Lisboa.

CTB-P+ (2009), “Certificat de qualité – TANALITH E NB”, FCBA, Paris.

Custódio, J.; Broughton, J.; Cruz, H.; Hutchinson, A. (2008), “A Review of Adhesion Promotion Techniques for Solid Timber Substrates”, *International Journal of Adhesion*, DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2008.03.002.

Decreto-Lei nº 121/2002, de 3 de Maio – Produtos biocidas.

DH 844 (2006), “Documento de Homologação – TANALITH 3492: Características e condições de emprego”, LNEC, Lisboa.

EN 335-2 (2006), “Durability of wood and wood-based products – Definition of use classes – Part 2: Application to solid wood”, *European Committee for Standardization*, Brussels.

EN 391 (2001), “Glued laminated timber. Delamination test of glue lines”, *European Committee for Standardization*, Brussels.

Franco da Costa, J. (1978), “Aplicação da madeira de Pinho bravo em estruturas coladas. Viabilidade da colagem”, *Relatório – Proc. 33/11/6150*, LNEC, Lisboa.

Gaspar, F. (2005), “Estruturas de madeira lamelada-colada – Viabilidade da utilização de madeira de Pinho bravo tratada com produto preservador”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Gaspar, F. (2010), “Avaliação da integridade de estruturas de madeira lamelada colada em serviço”, Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no Instituto Politécnico de Leiria e no Instituto Superior Técnico, para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil, Lisboa.

Lampreia, N. (2010), “Utilização de promotores de adesão no fabrico de estruturas de madeira lamelada colada de Pinho bravo”, Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização de Estruturas, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa.

NP EN 386 (2009), “Madeira lamelada-colada. Requisitos de desempenho e requisitos mínimos de fabrico”, *Instituto Português da Qualidade*, Lisboa.

NP EN 392 (2002), “Madeira lamelada-colada. Ensaio de corte pelas linhas de colagem”, *Instituto Português da Qualidade*, Lisboa.

Pontífice de Sousa, P.M. (1990), “Estruturas de madeira lamelada-colada, Viabilidade da utilização do Pinho bravo”, Tese para especialista – Proc. 083/11/9342, LNEC, Lisboa.

Szczurek, A.; Pizzi, A.; Delmotte, L.; Celzard, A. (2010), “Reaction Mechanism of Hydroxymethylated Resorcinol Adhesion Promoter in Polyurethane Adhesives for Wood Bonding”, *Journal of Adhesion Science & Technology*, vol. 24 (8), p. 1577-1582, Mulhouse.

Vick, C.B. (1995), “Hydroxymethylated Resorcinol Coupling Agent for Enhanced Adhesion of Epoxy and Other Thermosetting Adhesives to Wood – Wood Adhesives 1995”, *USDA Forest Service – Forest Products Laboratory and Forest Products Society*, Madison.