XEPOX

VIDEO

CE
EN 1504-4

ADESIVO EPOXÍDICO BICOMPONENTE

CONFIÁVEL
A sua durabilidade é comprovada pelos 30 anos de utilização na construção em madeira.

EFICIENTE
Adesivo epoxídico bicomponente de alto desempenho. A resistência dos nós depende exclusivamente do material da madeira, graças à sobre-resistência do adesivo.

VERSÁTIL
Em cartucho para uma utilização prática e rápida, em formatos de 3 litros e 5 litros para ligações de maior volume.

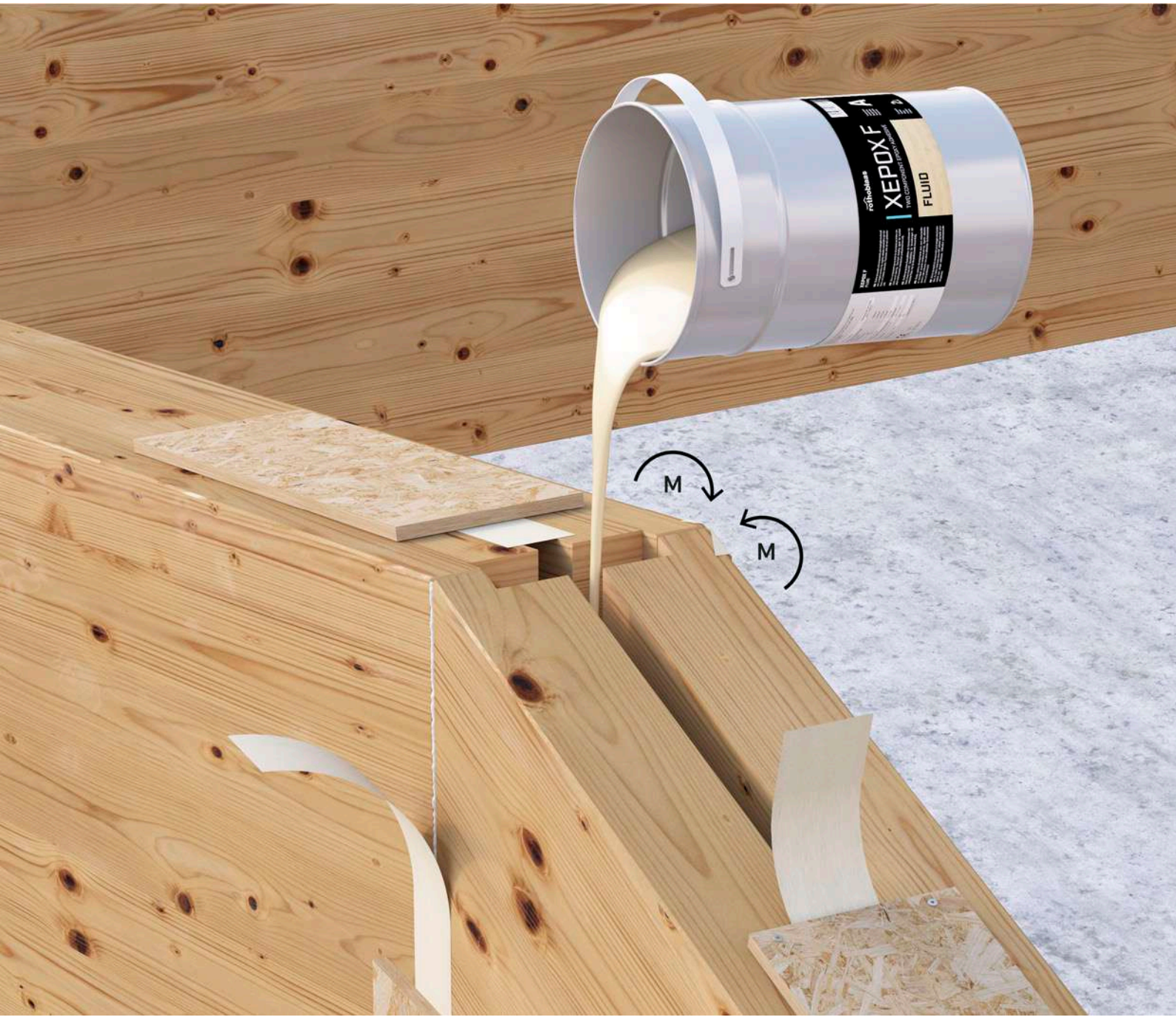
CARATERÍSTICAS

FOCUS	colagens estruturais
TIPOLOGIAS	ligações com barras, ligações com chapas furadas ou saibradas
GAMA	5 produtos para se adaptar a todas as necessidades de aplicação
APLICAÇÃO	aplicável por pulverização, pincel, percolação ou espátula, dependendo da viscosidade

VÍDEO
Digitalize o QR Code e assista ao vídeo no nosso canal YouTube

MATERIAL
Adesivo epoxídico bicomponente.

CAMPOS DE APLICAÇÃO
Ligações de corte, ação axial e momento realizáveis em
- madeira maciça e lamelar
- CLT
- betão



ESTRUTURAL

Ideal para a realização de nós rígidos multidirecionais.

CONSOLIDAÇÃO ESTÁTICA

Utilizável para a reconstrução do material de madeira em combinação com barras metálicas e outros materiais.

CÓDIGOS E DIMENSÕES

CAIXAS

CÓDIGO	descrição	conteúdo [ml]	pçs
XEPOXP3000	P - primer	A + B = 3000	1
XEPOXL3000	L - líquido	A + B = 3000	1
XEPOXL5000		A + B = 5000	1
XEPOXF3000	F - fluido	A + B = 3000	1
XEPOXF5000		A + B = 5000	1
XEPOXG3000	G - gel	A + B = 3000	1

CARTUCHOS

CÓDIGO	descrição	conteúdo [ml]	pçs
XEPOXF400	F - fluido	400	1
XEPOXD400	D - denso	400	1

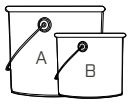
PRODUTOS ADICIONAIS - ACESSÓRIOS

CÓDIGO	descrição	pçs
MAMDB	pistola para cartuchos duplos	1
STINGXP	bico misturador	1

APLICAÇÕES

XEPOX P - primer

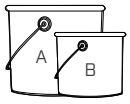
Adesivo epoxídico bicomponente de baixíssima viscosidade e elevada molhabilidade sobre o suporte, para reforços estruturais com fitas/tecidos de carbono ou de vidro. Útil também para a proteção de chapas saibradas SA2,5/SA3 (ISO 8501) e para a construção de insertos FRP (Fiber Reinforced Polymers). Aplicável por rolo, pulverização e pincel. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1;Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

XEPOX L - líquido

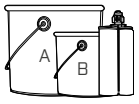
Adesivo epoxídico bicomponente para empregos estruturais, muito fluido, aplicável para escoamento em furos verticais muito profundos e para grandes juntas com insertos ocultos, em fresagens muito extensas ou com espaços internos muito exíguos (1 mm ou superiores), sempre com uma prévia e cuidadosíssima selagem das fugas.
Fluido e injetável. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Acute Tox. 4; STOT RE 2; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

XEPOX F - fluido

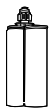
Adesivo epoxídico bicomponente fluido para empregos estruturais, aplicável por injeção em furos e em fresagens, com prévia selagem das fugas. Preferível para a solidarização à madeira dos conectores dobrados (sistema Turrini-Piazza) nas lajes colaborantes de madeira-betão, quer com vigas novas quer com vigas existentes; interstício entre o metal e a madeira de cerca de 2 mm ou superior. Percolação nos furos verticais nas fresagens depois da inserção de ponteiras metálicas em chapa ou em barra. Fluido e injetável com cartucho. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e 30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: STOT RE 2; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

XEPOX D - denso

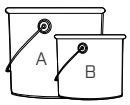
Adesivo epoxídico bicomponente tixotrópico (viscoso) para usos estruturais, aplicável por injeção, sobretudo em furos horizontais ou verticais, nas vigas de madeira lamelada, madeira maciça, nas construções de tijolos e no betão armado.
Injetável com cartucho.
Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Repr. 1A; Acute Tox. 4; Skin Corr. 1B; Eye Dam. 1; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

XEPOX G - gel

Adesivo epoxídico bicomponente em gel para empregos estruturais, aplicável com espátula também sobre superfícies verticais e na formação de espessuras consistentes ou irregulares. Apropriado para sobreposições de madeira muito extensas e a colagem de reforços estruturais, com a utilização de tecidos de fibras de vidro ou carbono e para placagens (aumento de espessura) de madeira ou metal.
Aplicável com espátula. Prazo de validade 36 meses na embalagem original fechada, a temperaturas entre +5 °C e +30 °C.



Classificação componente A: Eye Irrit. 2; Skin Irrit. 2; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 2. Classificação componente B: Acute Tox. 4; Skin Corr. 1A; Eye Dam. 1; STOT SE 3; Skin Sens. 1; Aquatic Chronic 3.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Propriedades	Normativa		XEPOX P	XEPOX L	XEPOX F	XEPOX D	XEPOX G
Peso específico	**ASTM D 792-66**		≈ 1,10	≈ 1,40	≈ 1,45	≈ 2,00	≈ 1,90
Relação estequiométrica em volume (A/B)[1]	-		100 : 50 [2]	100 : 50	100 : 50	100 : 50	100 : 50
Pot life 23 ± 2° 150 cc	**ERL 13-70**	[min]	-	50 ÷ 60	50 ÷ 60	50 ÷ 60	60 ÷ 70
Tempo de transformação da mistura	**ERL 13-70**	[min]	25 ÷ 30	25 ÷ 30	25 ÷ 30	25 ÷ 30	-
Temperatura de aplicação (humidade relativa máx. 90%)	-	[°C]	10 ÷ 35	10 ÷ 35	10 ÷ 35	5 ÷ 40	5 ÷ 40
Espessura recomendada	-	[mm]	0,1 ÷ 2	1 ÷ 2	2 ÷ 4	2 ÷ 6	1 ÷ 10
Tensão normal de aderência σ	**EN 12188**	[N/mm^2]	21	27	25	19	23
Resistência ao corte inclinado σ_0 50°	**EN 12188**	[N/mm^2]	94	70	93	55	102
Resistência ao corte inclinado σ_0 60°	**EN 12188**	[N/mm^2]	106	88	101	80	109
Resistência ao corte inclinado σ_0 70°	**EN 12188**	[N/mm^2]	121	103	115	95	116
Resistência ao corte-aderência τ	**EN 12188**	[N/mm^2]	39	27	36	27	37
Carga unitária de rutura por compressão[3]	**EN 13412**	[N/mm^2]	83	88	85	84	94
Módulo elástico médio em compressão	**EN 13412**	[N/mm^2]	3438	3098	3937	3824	5764
Coeficiente de dilatação térmica (no intervalo -20 °C/+40 °C)	**EN 177**	[m/m·°C]	7,0 x 10^{-5}	7,0 x 10^{-5}	6,0 x 10^{-5}	6,0 x 10^{-5}	7,0 x 10^{-5}
Carga unitária de rutura por tração[4]	**ASTM D638**	[N/mm^2]	40	36	30	28	30
Módulo elástico médio em tração[4]	**ASTM D638**	[N/mm^2]	3300	4600	4600	6600	7900
Carga unitária de rutura por flexão[4]	**ASTM D790**	[N/mm^2]	86	64	38	46	46
Módulo elástico médio em flexão[4]	**ASTM D790**	[N/mm^2]	2400	3700	2600	5400	5400
Carga unitária de rutura por corte (punch tool)[4]	**ASTM D732**	[N/mm^2]	28	28	28	19	25
Viscosidade	-	[mPa·s]	A = 1100 B = 250	A = 2300 B = 800	A = 14000 B = 11500	A = 300000 B = 300000	A = 450000 B = 13000

NOTAS:

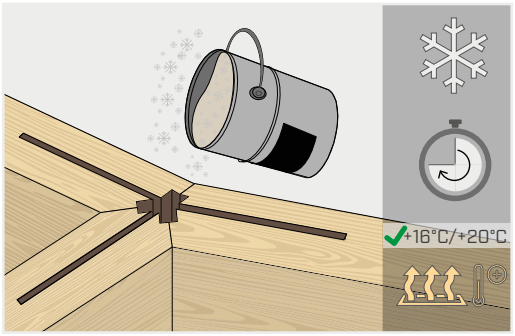
[1] Os componentes são embalados em quantidades pré-doseadas, prontos a utilizar. A relação é em volume (não em peso).

[2] É recomendável não utilizar mais de um litro de produto misturado de cada vez. A relação entre os componentes A:B em peso é de aproximadamente 100:44,4.

[3] Valor médio no final dos ciclos de carga/descarga.

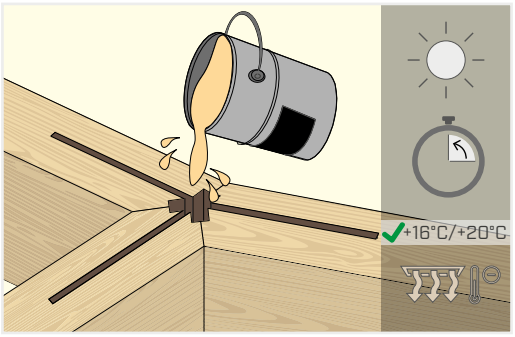
[4] Valores de teste da campanha de investigação "Ligações inovadoras para elementos estruturais de madeira" - Politecnico di Milano.

TEMPERATURAS DE APLICAÇÃO E CONSERVAÇÃO



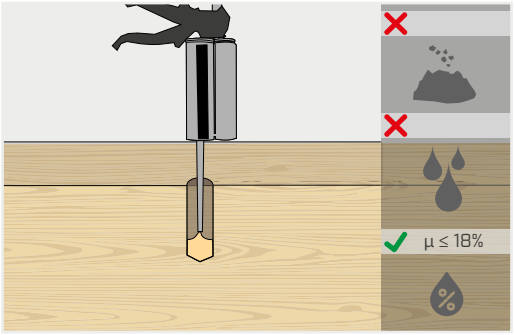
CONSERVAÇÃO DOS ADESIVOS

Os adesivos epoxídicos devem ser conservados a uma temperatura moderada (por volta de +16 °C / +20 °C) quer no inverno quer no verão, até ao imediato momento da utilização deles. Não conservar as embalagens ao frio, pois isto aumenta a viscosidade dos adesivos e torna dificultosa a percolação para fora das caixas e a extrusão dos cartuchos. Não deixar as embalagens expostas ao sol, pois o produto aquecido adquire tempos de polimerização muito reduzidos.



APLICAÇÃO DOS ADESIVOS

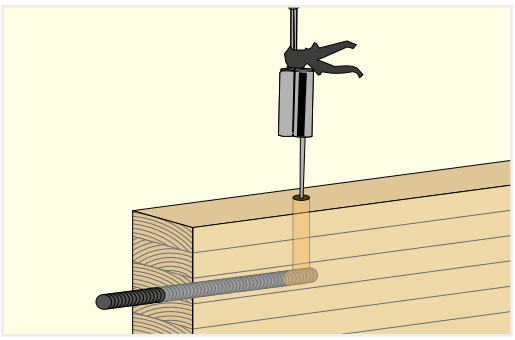
A temperatura ambiente recomendada para a aplicação é > +10 °C. Se a temperatura ambiente for muito baixa, as embalagens devem ser aquecidas, pelo menos, uma hora antes da utilização ou os locais de aplicação e as ponteiras metálicas devem ser aquecidas antes de percolação do produto. Pelo contrário, se as temperaturas forem muito elevadas, é necessário realizar as percolações do adesivo num local fresco, evitando as horas mais quentes do dia.



TRATAMENTO FUROS E FRESAGENS

Antes da percolação ou da injecção do adesivo, os furos e encavos feitos na madeira devem ser protegidos contra a água meteórica ou a elevada humidade atmosférica e limpos com ar comprimido. Se as partes a serem resinadas estiverem molhadas ou altamente húmidas, devem ser absolutamente enxutas. A utilização de adesivos XEPOX é recomendada para madeira devidamente seca, com um teor de humidade da madeira inferior a 18%, aproximadamente.

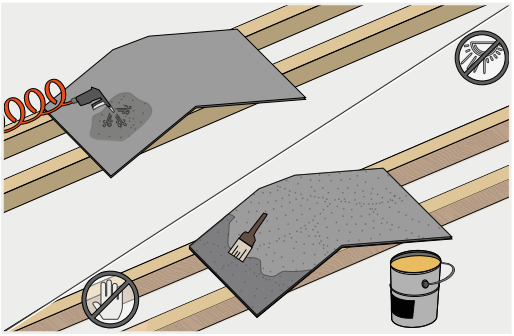
LIGAÇÕES COM BARRAS COLADAS



RESINAÇÃO

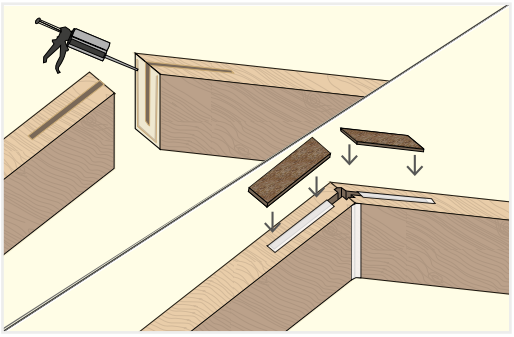
As ligações com barras são adequadas para extrusão com cartuchos biaxiais, devido às quantidade reduzidas de resina. Para variar a quantidade de adesivo a injetar, cortar a extremidade do bico. Para a colagem de barras longas, é recomendado fazer furos de enchimento em direção ortogonal à barra.

LIGAÇÕES DE MOMENTO COM CHAPAS



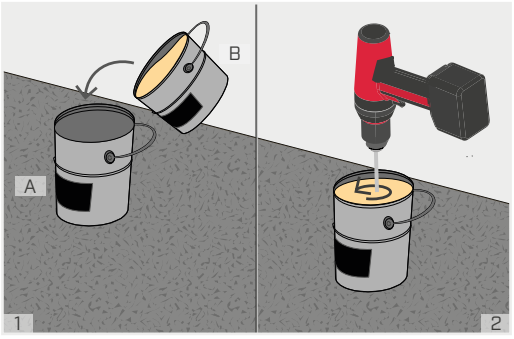
PREPARAÇÃO DO SUPORTE METÁLICO

Os insertos metálicos de armação das juntas devem ser limpos e desengordurados. As chapas lisas devem ser tratadas com um processo de areagem de grau SA2,5 / SA3 e depois protegidas coma um mão de XEPOX P, a fim de se evitar a oxidação delas. Sobretudo nos meses quentes, é necessário proteger as superfícies metálicas contra os raios directos do sol.



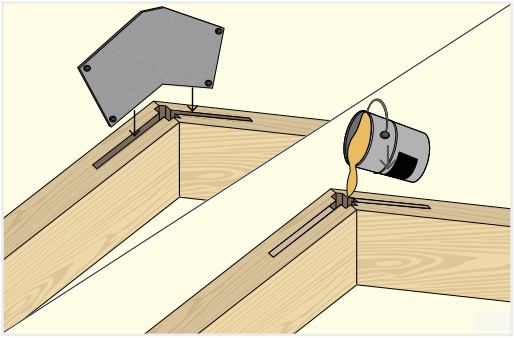
PREPARAÇÃO DO SUPORTE DE MADEIRA

Perto da bordas verticais, aplicar tiras contínuas de fita
adesiva, colocando-as a cerca de 2÷3 mm da borda. Em seguida, aplicar um cordão contínuo de silicone acético e pressionar para que este também adira às superfícies protegidas pela fita.
As fresagens extradossais dos elementos inclinados devem ser seladas com ripas ou tábuas de madeira, deixando apenas a extremidade das fresagens descoberta no ponto mais alto a partir do qual o adesivo deve ser percolado.



PREPARAÇÃO DO PRODUTO

Para utilizar o produto em latas, despejar o endurecedor (componente B) na lataque contém a resina epoxídica (componente A). Misturar energicamente os dois componentes de cores diferentes. Recomendamos um misturador adequado com dupla hélice montado numa ferramenta elétrica (em alternativa, pode ser utilizado um batedor de varetas metálicas), até se obter uma mistura de cor homogénea. Em seguida, despeje a mistura obtida.
Para distribuição em fendas de comprimento considerável deitar diretamente da lata de mistura em caso de coadura ou retirar o produto e espalhá-lo com uma espátula.



RESINAÇÃO

É recomendável assegurar uma almofada "útil" de adesivo a efetuar com uma fresagem adequada na zona da cabeça dos elementos estruturais de madeira como garantia adicional da funcionalidade do sistema de contacto. Sugere-se uma espessura dos interstícios entre as ponteiras metálicas e a madeira de 2÷3 mm por lado. Para garantir o posicionamento correto das ponteiras dentro dos entalhes, é recomendável colocar anilhas espaçadoras nas ponteiras aplicadas na fase de polimerização da proteção com XEPOX P.

ADESIVO EPOXÍDICO XEPOX

UMA FAMÍLIA HISTÓRICA DE PRODUTOS PARA LIGAÇÕES ENTRE ELEMENTOS DE MADEIRA, CAPAZ DE GARANTIR UMA EXCELENTE RESTABELECIMENTO DA RESISTÊNCIA E RIGIDEZ

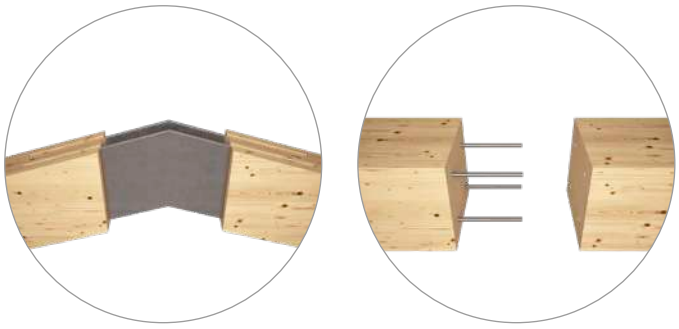
Os adesivos epoxídicos XEPOX são resinas bicomponentes especificamente formulados para penetrar na microestrutura da madeira e aderir à mesma de forma muito eficaz e para reduzir a cristalização típica das resinas.

A mistura dos componentes A e B provoca uma reação exotérmica (desenvolvimento de calor) e, uma vez endurecida, forma uma estrutura tridimensional com propriedades excecionais, tais como: durabilidade ao longo do tempo, interação com a ausência de humidade, excelente estabilidade térmica, grande rigidez e resistência.
Cada elemento químico ou mineral da formulação desempenha um papel específico e todos juntos contribuem para a obtenção das características de desempenho do adesivo.

CAMPOS DE EMPREGO

As diferentes viscosidades dos produtos XEPOX garantem utilizações versáteis para diferentes tipos de ligações, tanto para novas construções, como para recuperações estruturais. A utilização em combinação com aço, em particular, chapas, saibradas ou perfuradas, e barras, proporciona elevada resistência em espessuras limitadas.

1. LIGAÇÃO DE CONTINUIDADE DE MOMENTO



2. LIGAÇÕES DE DUAS OU TRÊS VIGAS

3. LIGAÇÃO DE MEIA MADEIRA

4. REABILITAÇÃO DE PEÇAS DEGRADADAS

MELHORAMENTOS ESTÉTICOS

O formato de cartucho também permite que seja utilizado para arranjos estéticos e colagens em pequenas quantidades.

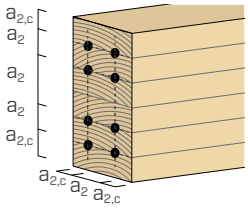
LIGAÇÕES COM BARRAS COLADAS

Seguem-se as indicações contidas nas DIN 1052:2008 e nas normas italianas CNR DT 207:2018.

DISTÂNCIAS MÍNIMAS PARA BARRAS

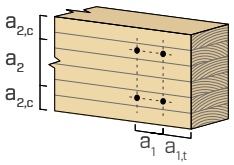
TRAÇÃO
Barras coladas // à fibra

a_2	5d
$a_{2,c}$	2,5d



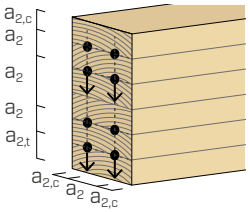
TRAÇÃO
Barras coladas ⊥ à fibra

a_1	4d
a_2	4d
$a_{1,t}$	2,5d
$a_{2,c}$	2,5d



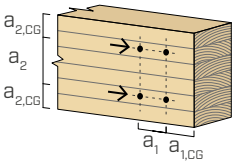
CORTE
Barras coladas // à fibra

a_2	5d
$a_{2,c}$	2,5d
$a_{2,t}$	4d



CORTE
Barras coladas ⊥ à fibra

a_1	7d
a_2	5d
$a_{1,CG}$	10d
$a_{2,CG}$	4d



O comprimento mínimo de inserção é de:

$$l_{min} = max \left\{ \begin{matrix} 0{,}5\ d^2 \\ 10\ d \end{matrix} \right\}$$

MÉTODO DE CÁLCULO

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A resistência à tração de uma barra de diâmetro d é de:

$$R_{ax,d} = min \begin{cases} f_{yd} \cdot A_{res} & \text{rutura do aço} \\ \pi \cdot d \cdot l \cdot f_{v,d} & \text{rutura da madeira por corte} \\ f_{t,0,d} \cdot A_{eff} & \text{rutura da madeira por tração} \end{cases}$$

A área efetiva considera um quadrado de madeira com um lado máximo de 6d; a área é reduzida para distâncias menores entre os elementos ou a partir da borda.

f_{yd} = resistência do aço de projeto

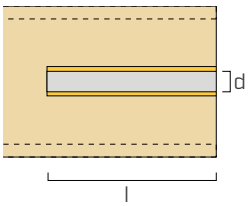
$f_{t,0,d}$ = resistência à tração de projeto da madeira

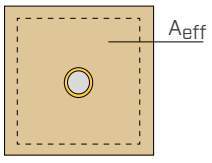
A resistência ao corte da colagem $f_{v,k}$ depende do comprimento de inserção

l [mm]	$f_{v,k}$ [MPa]
≤ 250	4
250 < l ≤ 500	5,25 - 0,005 x l
500 < l ≤ 1000	3,5 - 0,0015 x l

para o ângulo α de inclinação em relação à fibra verifica-se:

$$f_{v,\alpha,k} = f_{v,k} \cdot (1{,}5 \cdot sin^2\alpha + cos^2\alpha)$$



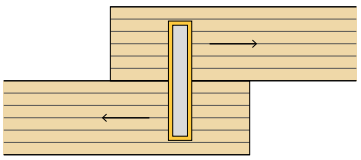


RESISTÊNCIA AO CORTE

A resistência ao corte de uma barra pode ser calculada com as conhecidas fórmulas de Johansen para parafusos de rosca métrica, com as seguintes precauções:

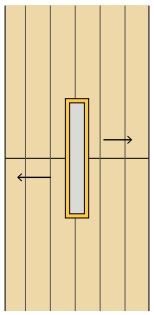
Para barras coladas perpendicularmente à fibra, a resistência ao esforço de apoio pode ser aumentada até 25%.

$f_{h,k} = f_{h,k} + 25\%$



A resistência ao esforço de apoio das barras coladas paralelamente à fibra é de 10% do valor perpendicular à fibra.

$f_{h,k,//} = 10\%\ f_{h,k,}$



O efeito oco é avaliado como a resistência dada pela colagem de extração (rutura b).
Para obter a resistência de uma barra colada a um ângulo α de colagem, é permitido interpolar linearmente entre os valores de resistência para α a 0° e 90°.

EXPERIMENTAÇÃO

Segue-se o cálculo de extração de uma barra colada com XEPOX, comparando o resultado com os testes realizados na Universidade de Biel, medindo o fator de sobre-resistência entre o teste e o cálculo. Isto demonstra a margem de segurança existente: no entanto, relembramos que o valor resultante do teste não é um valor característico e não se destina a ser utilizado no projeto.

DADOS GEOMÉTRICOS

Lado da amostra	80	mm
A_{eff}	6400	mm
d	16	mm
l	160	mm
f_{yk}	900	MPa
$f_{t,0,k}$	27	MPa
γ_{M0}	1	
k_{mod}	1,1	
γ_M	1,3	

Rutura do aço	162,9	kN
Rutura da madeira por corte	29,0	kN
Rutura da madeira por tração	146,2	kN
$R_{ax,d}$ = ação axial resistente de projeto	29,0	kN
$R_{ax,m}$ = ação axial resistente média experimental	96,3	kN
f = fator de sobre-resistência	3,3	

NOTAS:

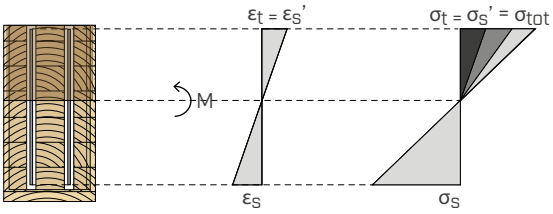
A resistência à tração foi inferida da densidade média das amostras utilizadas para os testes.

Os cálculos foram efetuados tendo em conta os valores de k_{mod} e γ_M de acordo com a EN 1995 1-1 e γ_{M0} de acordo com a EN 1993 1-1.

LIGAÇÕES DE MOMENTO COM CHAPAS

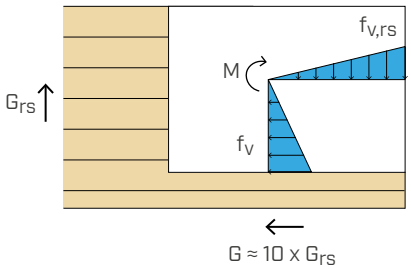
MÉTODO DE CÁLCULO | SECÇÃO DA CABEÇA

As forças resultantes do momento e da ação axial são determinadas pela homogeneização dos materiais da secção, na hipótese de conservação das secções planas. A tensão de corte é absorvida apenas pelas chapas. Também é necessário verificar as tensões que atuam na secção de madeira útil das fresagens.



MÉTODO DE CÁLCULO | DISTRIBUIÇÃO DO MOMENTO NA INTERFACE AÇO-ADESIVO-MADEIRA

O momento é distribuído pelo número de superfícies de interface e, em seguida, decomposto em forças, considerando tanto a inércia polar em torno do centro de gravidade, como as diferentes rigidezes da madeira. Desta forma, as tensões tangenciais máximas são obtidas na direção ortogonal e paralela à fibra, a serem verificadas também na sua interação.



Momento de inércia polar de meia ponteira em relação ao centro de gravidade, pesado nos módulos de corte de madeira:

$$J_P^* = \frac{l_i \cdot h^3}{12} \cdot G + \frac{l_i^3 \cdot h}{12} \cdot G_{rs}$$

Cálculo das forças tangenciais e verificação combinada:

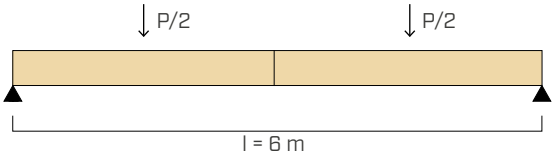
$$\tau_{max,hor} = \frac{(M_d + M_{T,Ed})}{2 \cdot n_i \cdot J_P^*} \cdot \frac{h}{2} \cdot G + \frac{N_d}{2\ n_i\ A_i}$$

$$\tau_{max,vert} = \frac{(M_d + M_{T,Ed}) \cdot e}{2 \cdot n_i \cdot J_P^*} \cdot G_{rs} + \frac{V_d}{2\ n_i\ A_i}$$

$$\sqrt{\left(\frac{\tau_{max,hor}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{max,vert}}{f_{v,rs,d}}\right)^2} \leq 1$$

EXPERIMENTAÇÃO

Segue-se o cálculo de dois nós de momento realizados com XEPOX, comparando o resultado com os testes de flexão de 4 pontos efetuados no Politecnico di Milano. É determinado o **fator de sobre-resistência** entre o teste e o cálculo, o que demonstra a boa margem de segurança existente no cálculo dos nós. O valor resultante do teste **não é um valor característico e não se destina a ser utilizado no projeto**.



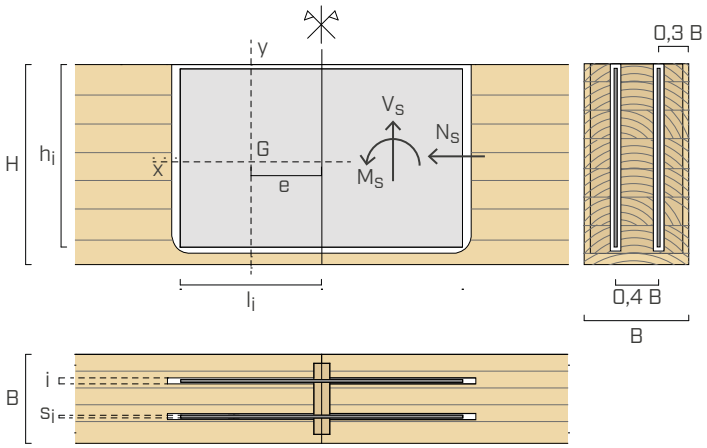
LEGENDA:

B	base da viga	σ_t	tensão máxima de compressão na madeira
H	altura da viga	σ_s'	tensão máxima de compressão no aço
α_1	ângulo de inclinação das vigas	σ_s	tensão máxima de tração no aço
n_i	número de ponteiras	σ_{tm}	força de flexão máxima na madeira
S_i	espessura das ponteiras metálicas	$\tau_{max,hor}$	força tangencial máxima horizontal
h_i	altura das ponteiras metálicas	$\tau_{max,vert}$	força tangencial máxima vertical
l_i	comprimento de inserção das ponteiras metálicas	$f_{v,d}$	resistência ao corte paralelo à fibra
A_i	superfície de meia ponteira	$f_{v,rs,d}$	resistência ao corte perpendicular à fibra
e	excentricidade entre o centro de gravidade da chapa e a ligação da cabeça	$k_{c,90}$	parâmetro da EC 1995 1-1
B_n	largura da viga sem as fresagens		

EXEMPLO 1 | LIGAÇÃO DE CONTINUIDADE

GEOMETRIA DA JUNÇÃO: VIGA E CHAPAS

n_i	2	mm	**B**	200	mm
S_i	5	mm	**H**	360	mm
h_i	320	mm	B_n	182	mm
l_i	400	mm			
e	200	mm			



MATERIAIS E DADOS DE PROJETO

Classe de aço	**S275**
γ_{M0}	1
Classe da madeira	**GL24h**
k_{mod}	1,1
$\gamma_{M\ timber}$	1,3

Ponteiras metálicas saibradas de grau SA2,5/SA3 (ISO8501).

UTILIZAÇÃO DE XEPOX

Proteção das ponteiras contra a oxidação com **XEPOX P**. Utilização de adesivo **XEPOX F** ou **XEPOX L**.

VERIFICAÇÕES

M_d	momento de projeto aplicado	**54,3 kNm**

VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DA CABEÇA[1], [2]		
		% de verificação
σ_t	10,6 MPa	53 %
$\sigma_{s'}$	185,8 MPa	68 %
σ_s	274,9 MPa	100 %

VERIFICAÇÃO DA SECÇÃO DE MADEIRA SEM AS FRESAGENS		
		% de verificação
σ_{tm}	14,1 MPa	70 %

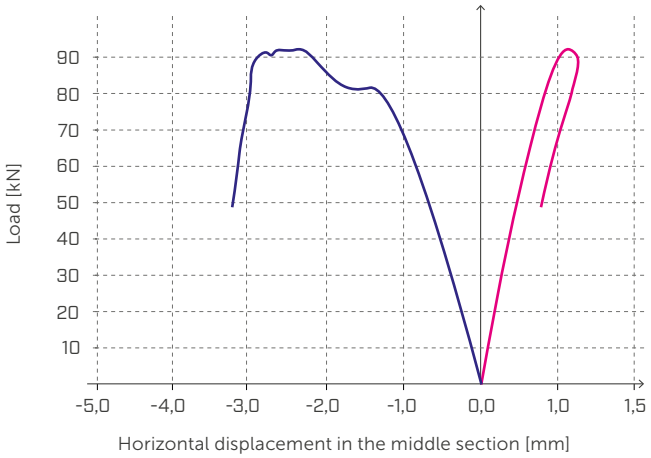
VERIFICAÇÃO DA TENSÃO TANGENCIAL MÁXIMA NAS SUPERFÍCIES DE INTERFACE[3], [4]		
		% de verificação
J_P*	$8{,}56*10^{11}$ Nmm^2	
$\tau_{max,hor}$ (3)	1,7 MPa	57 %
$\tau_{max,vert}$ (3)	0,2 MPa	20 %
verificação combinada		60 %

$M_d = M_{Rd}$	momento aplicado = momento resistente de projeto	**54,3 kNm**
M_{TEST}	momento resistente ao teste	**94,1 kNm**
f	fator de sobre-resistência	**1,7**

GRÁFICO FORÇA - DESLOCAMENTO

Deslocamento horizontal das fibras esticadas e comprimidas no centro.

O gráfico mostra o maior deslocamento das fibras esticadas, validando a hipótese de cálculo de que a madeira reage à compressão juntamente com as ponteiras metálicas, deslocando o eixo neutro para cima.

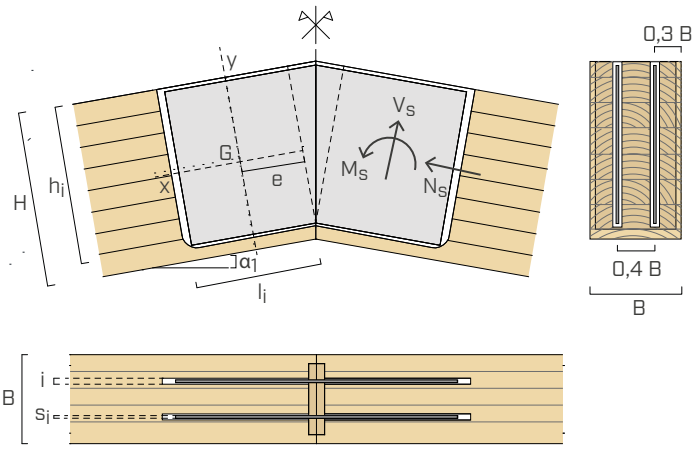


ABA SUPERIOR
ABA INFERIOR

EXEMPLO 2: LIGAÇÃO ROTULADA

GEOMETRIA DA JUNÇÃO: VIGA E CHAPAS

n_i	2	mm	**B**	200	mm
S_i	6	mm	**H**	360	mm
h_i	300	mm	B_n	176	mm
l_i	568	mm	α_1	21,8	°
e	332	mm			



MATERIAIS E DADOS DE PROJETO

Classe de aço	**S275**
γ_{M0}	1
Classe da madeira	**GL32c**
k_{mod}	1,1
$\gamma_{M\ timber}$	1,3

Ponteiras metálicas saibradas de grau SA2,5/SA3 (ISO8501).

UTILIZAÇÃO DE XEPOX

Proteção das ponteiras contra a oxidação com **XEPOX P**. Utilização de adesivo **XEPOX F** ou **XEPOX L**.

VERIFICAÇÕES

M_d	momento de projeto aplicado	**63,5**	**kNm**

VERIFICAÇÃO DA LIGAÇÃO DA CABEÇA[1], [2]			
		% de verificação	
$k_{c,90}$ [A]	1,75		
σ_c	12,7 MPa	100	%
$\sigma_{s'}$	180,7 MPa	66	%
σ_s	262,0 MPa	95	%

VERIFICAÇÃO DA SECÇÃO DE MADEIRA SEM AS FRESAGENS			
		% de verificação	
σ_t	16,7 MPa	62	%

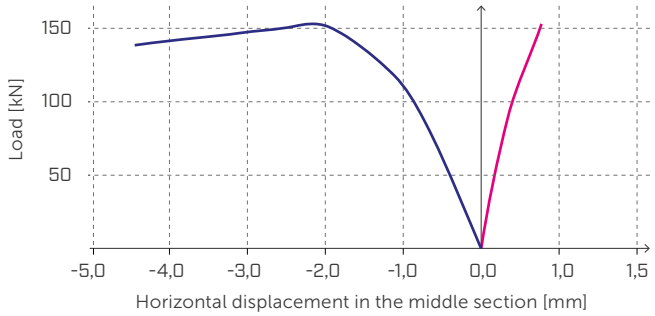
VERIFICAÇÃO DA TENSÃO TANGENCIAL MÁXIMA NAS SUPERFÍCIES DE INTERFACE[3], [4]			
		% de verificação	
J_P*	$1{,}52*10^{12}$ Nmm^2		
$\tau_{max,hor}$ [3]	1,1 MPa	38	%
$\tau_{max,vert}$ [3]	0,2 MPa	21	%
verificação combinada		43	%

$M_d = M_{Rd}$	momento aplicado = momento resistente de projeto	**63,5**	**kNm**
M_{TEST}	momento resistente ao teste	**131,8**	**kNm**
f	fator de sobre-resistência	**2,1**	

GRÁFICO FORÇA - DESLOCAMENTO

Deslocamento horizontal das fibras esticadas e comprimidas no centro.

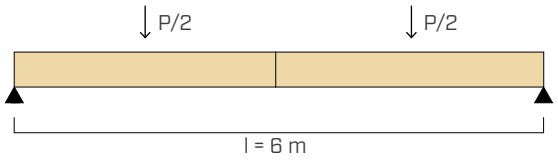
O gráfico mostra o maior deslocamento das fibras esticadas, validando a hipótese de cálculo de que a madeira reage à compressão juntamente com as ponteiras metálicas, deslocando o eixo neutro para cima.



ABA SUPERIOR
ABA INFERIOR

RIGIDEZ DAS LIGAÇÕES

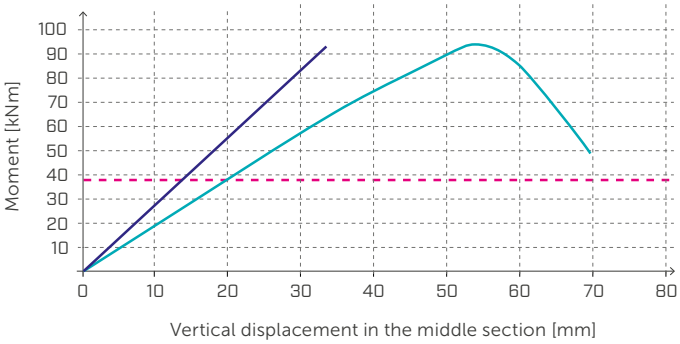
As ligações de momento realizadas com os adesivos XEPOX garantem uma excelente rigidez aos elementos ligados. Para o comprovar, comparamos os valores de seta obtidos nos cálculos analíticos para uma viga não unida de igual folga, secção e carga com os dados experimentais do exemplo de cálculo 1.



Para obter um valor de referência de seta a partir dos dados experimentais disponíveis, é necessário determinar uma carga operacional. Para isso, é possível considerar o momento resistente de 54,5 kNm calculado para a viga do exemplo de cálculo 1, que, idealmente, corresponde à tensão máxima aceitável no Último Estado Limite. A partir destes dados e atribuindo uma distribuição realista de cargas na viga, é possível determinar um momento de tensão máximo em funcionamento utilizando os coeficientes de amplificação de cargas de acordo com as normas aplicáveis.
No caso do dimensionamento de uma cobertura plana de madeira não transitável, são definidas as seguintes cargas.
$p = 1{,}5\ kN/m^2$; $q = 1{,}5\ kN/m^2$
Nesta hipótese, a carga total, na combinação operacional mais rigorosa, é de cerca de 70% da carga no Último Estado Limite. Consequentemente, o momento máximo de atuação em funcionamento é de 54,3 x 0,7 = 38 kNm, o que provoca uma seta instantânea, para a viga não unida, de cerca de 13 mm, enquanto a seta medida experimentalmente é de 19 mm. O aumento do deslocamento vertical durante o funcionamento é portanto: l/1050.

GRÁFICO MOMENTO - DESLOCAMENTO

— VIGA COM NÓ XEPOX
— VIGA CONTÍNUA
- - - MOMENTO MÁXIMO EM FUNCIONAMENTO



NOTAS:

(A) $k_{c,90}$ é um fator que modula a resistência à compressão da madeira em relação ao ângulo força-fibra na fórmula de Hankinson (EC 1995-1-1, ponto 6.1.5). No entanto, a fórmula não considera a estabilização das fibras de madeira fornecida pela resina, que preenche os vazios da madeira; fica ao critério do projetista aumentar este fator.

(1) O cálculo da secção foi efetuado considerando ligações elásticas lineares para todos os materiais. Note-se ue, em caso de cargas axiais e de corte, é necessário verificar a combinação destas forças.

(2) Neste cálculo considera-se que a almofada de resina permite um contacto total da secção de interface e que, portanto, a madeira possa reagir à compressão. Se a almofada não for executada, é recomendável verificar apenas a ponteira metálica como reagente, aplicando a fórmula seguinte com os parâmetros geométricos:

$$f_{yd} \le \frac{M_d}{\frac{B \cdot h^2}{6}}$$

(3) Note-se que os adesivos XEPOX se caracterizam por resistências à tração e ao corte típicos significativamente superiores às resistências oferecidas pelo material da madeira e que permanecem inalteradas ao longo do tempo. Por tal motivo, a verificação da resistência à torsão das interfaces é feita avaliando-se somente o lado da madeira, considerando-se safisfeita a mesma verificação para o adesivo.

(4) A tensão de corte "τ" da interface madeira-adesivo-aço, transferida para a madeira, é calculada no seu valor máximo em caso de inclinação paralela ou perpendicular às fibras da madeira. Estas tensões são comparadas em termos de resistência ao corte da madeira e de resistência ao "rolling shear", respetivamente. O cálculo aqui efetuado também deve considerar a dimensão do momento de transporte $M_{T,Ed}$ resultante da tensão de corte, se presente.

Note-se que os cálculos foram efetuados tendo em conta os valores de k_{mod} e γ_M de acordo com a EN 1995 1-1 e γ_{M0} de acordo com a EN 1993 1-1.