

4.3 Critérios da norma australiana

Valores de resistência e de rigidez das madeiras australianas estão incorporados nas expressões normativas para o cálculo do fator de estabilidade, k_{12} . Desta forma, antes de se calcular os esforços axiais resistentes, é necessária uma adaptação nas equações propostas pela AS 1720.1/97. A partir da definição do fator de estabilidade, escreve-se:

$$k_{12} = \frac{\pi^2 EI / L_e^2}{k_1 f_{c0,k} A} \quad [4.4]$$

Para as ações permanentes, a norma australiana indica $k_1 = 0,57$. Esse parâmetro foi alterado para $k_1 = 0,60$, conforme Tabela 2.1, pela necessária coerência com o texto da NBR 7190/97. Além disso, no cálculo do fator de estabilidade de peças esbeltas, k_{12} , a norma australiana emprega o módulo de elasticidade ajustado ao 5º quantil das distribuições normais de frequência e, para considerar os efeitos da fluência da madeira, utiliza-se apenas 50% do seu valor obtido em ensaios de duração padronizada em cinco minutos. Considerando-se um coeficiente de variação de 0,25 é possível escrever:

$$E_{0,05} \cong 0,6 \cdot E_{c0,m} \quad [4.5]$$

Fazendo-se as devidas substituições na Equação [4.4], tem-se:

$$k_{12} = \frac{\pi^2 (0,6 \cdot 0,5 \cdot E_{c0,m}) I / L_e^2}{0,60 \cdot f_{c0,k} A} \quad [4.6]$$

Substituindo-se os dados de resistência e de rigidez apresentados pela NBR 7190/97, para as diferentes classes de resistência das coníferas e dicotiledôneas, é possível escrever as expressões contidas na Tabela 4.1.

Considerando que o carregamento atuante é de natureza permanente, faz-se $k_1 = 0,60$. Para madeira seca, $k_4 = 1,0$. Adotou-se $k_6 = k_8 = 1,0$, por serem fatores não contemplados na NBR 7190/97. Aplicando-se o fator de capacidade $\phi = 0,7143$ (que corresponde ao $1/\gamma_w$ prescrito pela NBR 7190/97) à capacidade nominal – calculada conforme a Equação [2.74] – obtém-se o esforço resistente de uma peça axialmente comprimida.

Tabela 4.1 – Fatores de estabilidade ajustados pelos dados da NBR 7190/97.

CLASSES DE RESISTÊNCIA	k_{12}
Coníferas:	
C20	$k_{12} = 71,97/(\rho\lambda_s)^2$ [4.7]
C25	$k_{12} = 139,82/(\rho\lambda_s)^2$ [4.8]
C30	$k_{12} = 198,76/(\rho\lambda_s)^2$ [4.9]
Dicotiledôneas:	
C20	$k_{12} = 195,34/(\rho\lambda_s)^2$ [4.10]
C30	$k_{12} = 198,76/(\rho\lambda_s)^2$ [4.11]
C40	$k_{12} = 200,48/(\rho\lambda_s)^2$ [4.12]
C60	$k_{12} = 167,92/(\rho\lambda_s)^2$ [4.13]

Os valores de N_d estão representados nas Figuras 4.5 e 4.6, para as diferentes classes de resistência das madeiras brasileiras. Observa-se que os diagramas relativos à norma australiana são sempre marcados por um trecho horizontal, um intervalo linear e uma curva exponencial, resultado da aplicação das condições impostas pelas Equações [2.65] a [2.67]. Embora a AS 1720.1/97 adote uma esbelteza diferente da convencional, fez-se as devidas adaptações para permitir as comparações com os valores obtidos a partir das exigências da norma brasileira.

Nas peças curtas, o critério que prevalece é o da resistência. Assim, tanto a norma australiana como a brasileira conduzem a valores idênticos para o esforço de cálculo N_d . É notável a amplitude das diferenças alcançadas para as peças medianamente esbeltas e esbeltas, especialmente nas coníferas de classe C20, em que os valores admitidos pela NBR 7190/97 superam em 428% aqueles decorrentes do método australiano, quando $\lambda = 80$. Constata-se que as diferenças diminuem à medida que melhoram as propriedades de resistência e rigidez da madeira. Exemplificando, nas coníferas de classe C30 esta diferença aproxima-se de 44%, para esse mesmo índice de esbelteza.

Para as dicotiledôneas, a AS 1720.1/97 admite pequenos intervalos cujos valores superam aqueles obtidos conforme a norma brasileira, o que acontece imediatamente após $\lambda = 40$. Quando $\lambda = 41$, observa-se um pico de 14% em favor da norma australiana, válido para as

dicotiledôneas de classe C40. Desses intervalos em diante, a NBR 7190/97 sempre permite valores muito superiores aos da norma australiana, superando-a em 112% quando $\lambda = 140$ e a madeira é dicotiledônea de classe C60. Apesar de não produzir as descontinuidades nos diagramas e ser de fácil aplicação, o método australiano requer o uso de três diferentes condições no cálculo do fator de estabilidade e conduz a superdimensionamentos quando comparados com a NBR 7190/97.

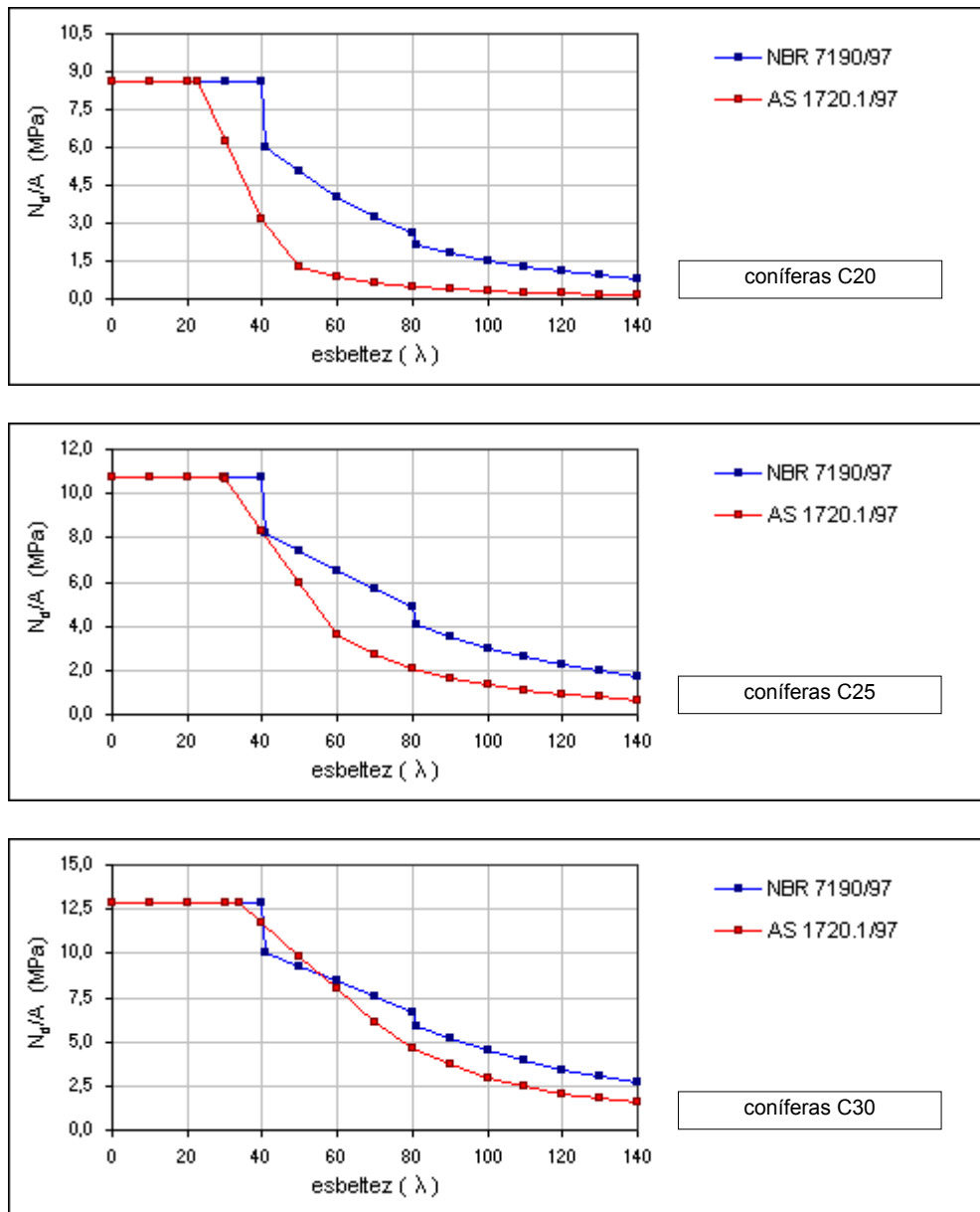


Figura 4.5 – Comparação entre a AS 1720.1/97 e a NBR 7190/97. Peças comprimidas. Madeira: coníferas.

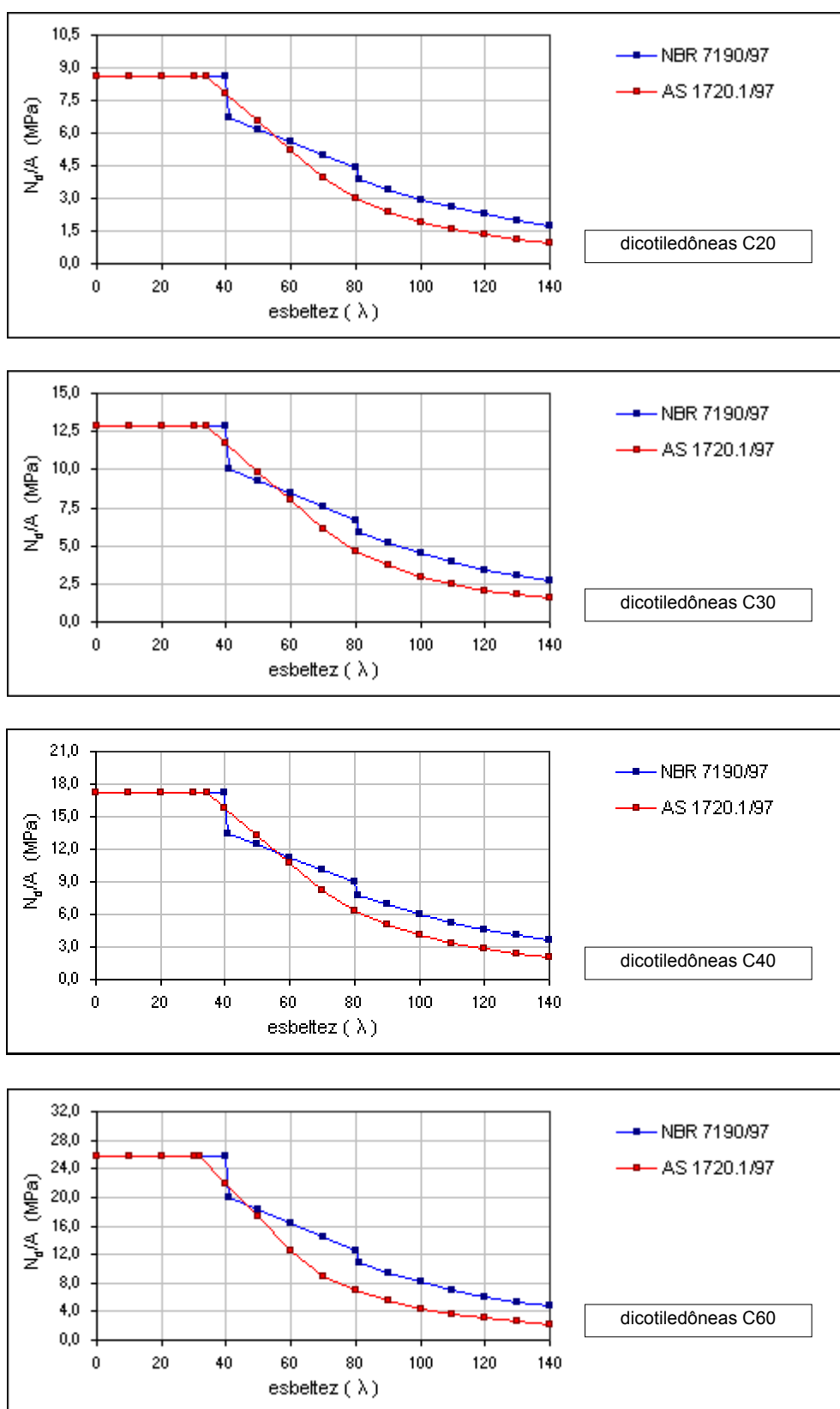


Figura 4.6 – Comparação entre a AS 1720.1/97 e a NBR 7190/97. Peças comprimidas. Madeira: dicotiledóneas.

No cálculo das peças comprimidas ou flexocomprimidas aparece a constante ρ , que é determinada por expressões fornecidas pela AS 1720.1/97 e depende da razão entre o carregamento variável (temporário) e o carregamento total aplicado na peça, denotado por r . Nestas simulações considerou-se que toda a carga aplicada seja permanente. Assim, $r = 0$. Entretanto, nestas circunstâncias, o código normativo indica que se adote $r = 0,25$.

A verificação das peças sujeitas à flexo-compressão reta se faz pelo atendimento das Equações [2.77] e [2.78], sendo que em ambas aparece, no denominador, a capacidade de projeto na flexão. Para o cálculo desse momento resistente, ϕM_{rz} , a norma australiana admite a hipótese de uma distribuição linear de deformações na seção transversal. Assim sendo, ele é determinado pela expressão da Resistência dos Materiais e afetado pelos fatores k_1 , k_4 , k_6 , k_9 , k_{11} e k_{12} , conforme recomendações normativas.

Admitiu-se para os fatores k_1 , k_4 e k_6 os mesmos valores das simulações anteriores das peças axialmente comprimidas. Os coeficientes k_9 e k_{11} , que representam o fator de compartilhamento de ações e o fator de dimensão nas peças flexionadas, respectivamente, também foram assumidos iguais à unidade pela inexistência de fatores similares na norma brasileira. Quando a flexão ocorre somente sobre o eixo de menor inércia $k_{12} = 1,0$, segundo o texto normativo.

O comportamento das peças flexocomprimidas, conforme as recomendações das normas brasileira e australiana, está representado nas Figuras 4.7 e 4.8, considerando-se as duas situações de diferentes excentricidades.

Observa-se um desempenho muito parecido, seja nas coníferas ou nas dicotiledôneas, quando as peças têm pequena esbeltez. As variações são inferiores a 9% quando a excentricidade inicial é $0,1 \cdot b$ e de apenas 0,15% quando a excentricidade inicial é $0,5 \cdot b$, sempre a favor da norma brasileira. Todavia, ultrapassando-se o intervalo considerado de validade para as peças curtas pela norma australiana, o esforço normal de projeto decresce acentuadamente, fazendo com que o valor admissível pela NBR 7190/97 supere em 137% o correspondente da norma australiana, quando $\lambda = 40$, a madeira é a conífera de classe C20 e a excentricidade inicial é igual a $0,1 \cdot b$.

Nota-se que as peças com índices de esbeltez situados no intervalo de 40 a 80 estão numa faixa de transição, em que os valores de N_d calculados pela norma australiana superam os equivalentes determinados pela norma brasileira no início desse intervalo, quando a excentricidade inicial é $0,1 \cdot b$ e a madeira é do tipo dicotiledônea. As coníferas só têm um desempenho semelhante na classe C30. Quando a excentricidade inicial é $0,5 \cdot b$, percebe-se que os critérios da norma australiana conduzem a desempenhos superiores aos da norma brasileira no início do intervalo das peças medianamente esbeltas, superando-os em 27% para as coníferas de classe C30 e dicotiledôneas da classe C40 quando $\lambda = 50$. As coníferas de classe C20 têm desempenho muito diferente; os resultados decorrentes da aplicação da NBR 7190/97 chegam a exceder em 78% aqueles devidos à norma australiana, quando $\lambda = 50$.

Peças esbeltas têm os valores de N_d gerados pela norma brasileira sempre superando os correspondentes admitidos pela norma australiana. Exemplificando: o valor da NBR 7190/97 excede em 367% o correspondente determinado pela AS 1720.1/97, para as coníferas C20 com esbeltez igual a 140 e excentricidade inicial igual a $0,1 \cdot b$; o valor da NBR 7190/97 excede em 90% o equivalente calculado pela AS 1720.1/97, para as dicotiledôneas C60, com esbeltez igual a 140 e excentricidade inicial igual a $0,1 \cdot b$. Diferenças menores são notadas quando a excentricidade inicial é igual a $0,5 \cdot b$.

Ainda que a aplicação dos critérios da AS 1720.1/97, para as peças flexocomprimidas, seja objetiva, de fácil emprego pelo projetista e de simples programação – permitindo a utilização de planilhas eletrônicas –, um ponto desfavorável é a necessidade de verificação de duas equações de interação. As diferenças constatadas na comparação dos resultados, especialmente para as peças de elevadas esbeltezes, permitem conjecturar que os critérios da norma australiana são demasiadamente conservadores neste intervalo. Por outro lado, a consideração implícita da fluência e dos efeitos de segunda ordem torna agradável o processo de dimensionamento.

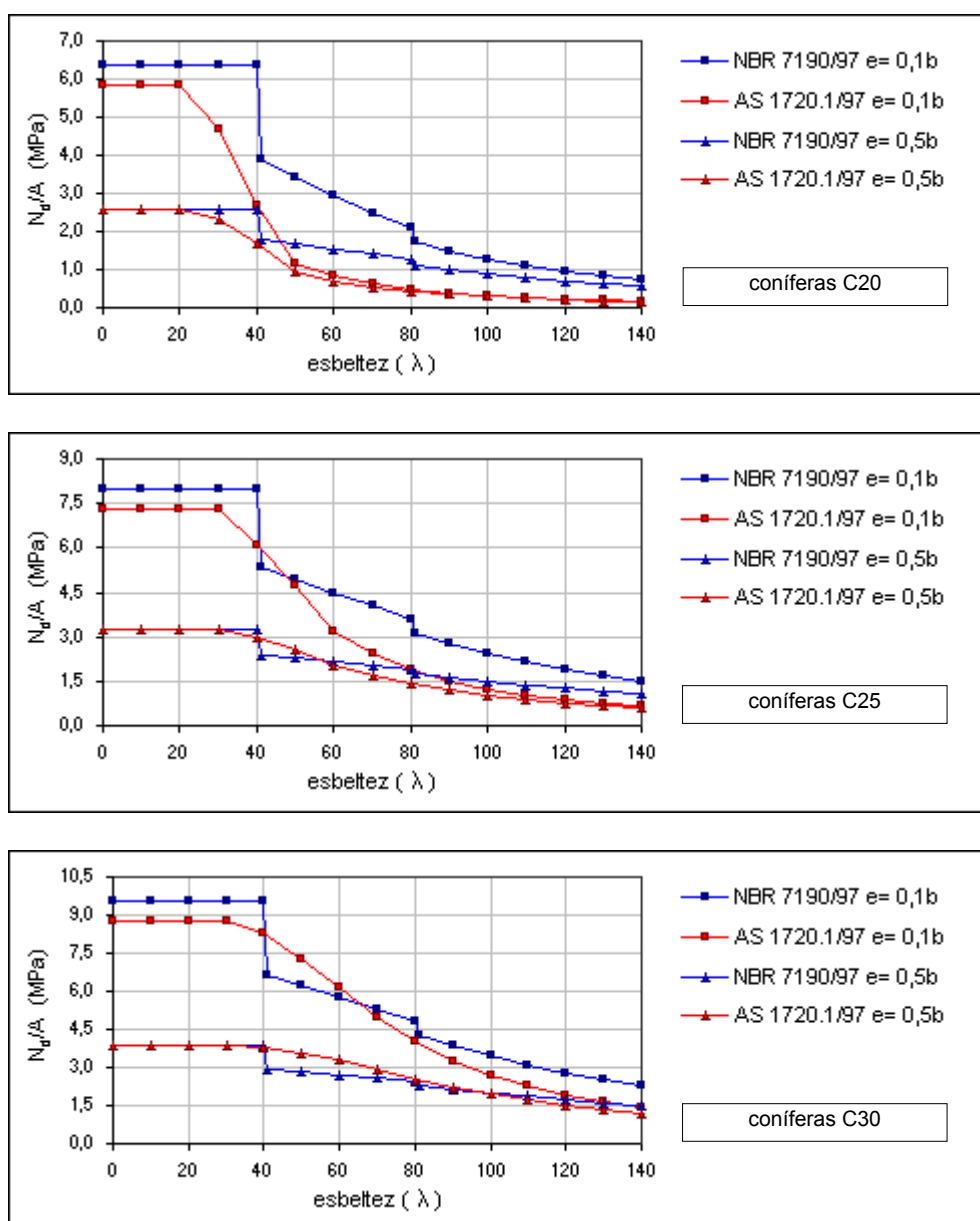


Figura 4.7 – Comparação entre a AS 1720.1/97 e a NBR 7190/97. Peças flexocomprimidas. Madeira: coníferas.

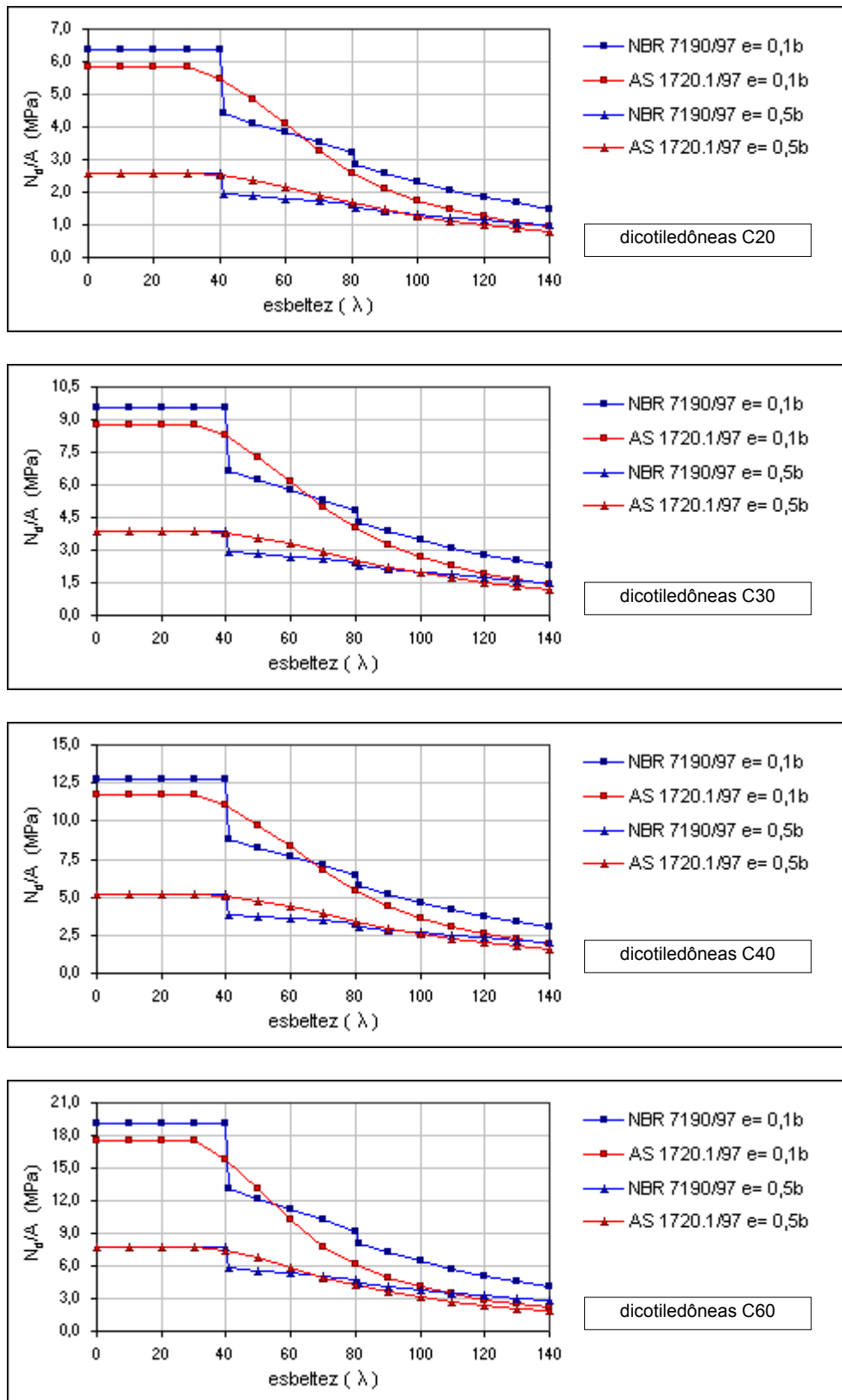


Figura 4.8 – Comparação entre a AS 1720.1/97 e a NBR 7190/97. Peças flexocomprimidas. Madeira: dicotiledóneas.