

Análise Comparativa da Quantificação da Acção da Neve de acordo com o RSA, a norma espanhola NBE e o EC1

Paulo Simões¹, Catarina Fernandes², Humberto Varum^{3†}

*Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro
3810-193 Aveiro, Portugal*

RESUMO

A quantificação da acção da neve de acordo com a regulamentação em vigor em Portugal, Espanha e com o estabelecido no Eurocódigo 1 fornece resultados muito distintos. Neste trabalho é realizada uma análise comparativa entre o método de cálculo indicado pelo Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, a norma espanhola NBE e o Eurocódigo 1. Foram analisados e comparados os vários parâmetros intervenientes na quantificação da acção da neve.

1. INTRODUÇÃO

As coberturas dos edifícios estão expostas a diversas acções exteriores, entre elas, à acção da neve (Figura 1) em zonas de clima frio e temperado. Quando a acção da neve sobre as coberturas não é bem quantificada, a sua acumulação poderá levar ao seu colapso. As consequências poderão traduzir-se não só em termos de danos materiais como também no risco para os ocupantes dos edifícios. Recentemente, a 2 de Janeiro de 2006, ocorreu o colapso da cobertura de um ringue de patinagem na Baviera, na Alemanha (Figura 2-a), onde resultaram 15 mortos. A 28 do mesmo mês, a cobertura de um centro de exposições em Katowice, no Sul da Polónia, ruiu parcialmente (Figura 2-b) provocando cerca de 62 mortes. Tudo indica que em ambos os casos a principal causa de colapso foi a acumulação excessiva da neve (BBC News).



Figura 1 – A acção da neve em coberturas.

¹ Engenheiro Civil

² Monitora, Engenheira Civil

³ † Professor Auxiliar (hvarum@civil.ua.pt)



Figura 2 – Colapso de coberturas: a) ringue de patinagem na Baviera, Alemanha; b) centro de exposições em Katowice, Polónia (BBC News).

Em Portugal, a quantificação da acção da neve é feita de acordo com o enunciado no Regulamento de Segurança e Acções Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA, 1983). No entanto, analisando as regulamentações utilizadas noutros países no que diz respeito à quantificação desta acção e comparando com o descrito no RSA, pode-se observar que as formas de quantificação apresentam algumas divergências entre si, nomeadamente ao nível dos parâmetros considerados por cada uma.

Com o objectivo de avaliar as diferenças encontradas entre o preconizado no RSA, na norma espanhola (NBE, 1988) e no Eurocódigo 1 (EC1, 2003) para a quantificação da acção da neve, procedeu-se a uma análise comparativa entre o exposto nestas três normas. Foram identificados e comparados os parâmetros intervenientes na quantificação da acção da neve e foi feita a comparação entre os resultados obtidos através da NBE e do EC1 com os fornecidos pelo RSA.

Esta análise foi realizada para vários tipos de coberturas e em função da sua inclinação. O RSA contempla seis situações distintas no que diz respeito à forma das coberturas, nomeadamente, coberturas isoladas com uma pendente e com duas pendentes simétricas, coberturas múltiplas com uma pendente e com duas pendentes simétricas, cobertura isolada invertida e cobertura isolada do tipo cilíndrica (Figura 3). Na análise comparativa desenvolvida neste artigo não são considerados estes dois últimos tipos de coberturas. No caso das coberturas isoladas invertidas, os coeficientes de forma para estas situações são iguais aos coeficientes de forma das coberturas múltiplas, pelo que o valor da acção da neve quantificado pelo RSA vai ser o mesmo em ambos os casos. Relativamente às coberturas cilíndricas, uma vez que a sua utilização em Portugal é pouco comum, optou-se por deixar de fora a sua abordagem neste estudo.

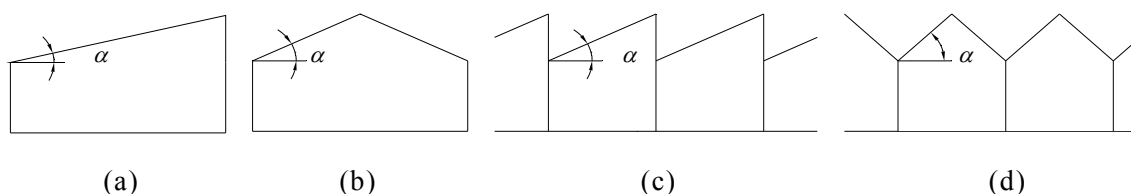


Figura 3 – Tipos de coberturas analisados: a) cobertura isolada com uma pendente; b) cobertura isolada com duas pendentes simétricas; c) cobertura múltipla com uma pendente; d) cobertura múltipla com duas pendentes simétricas (RSA, 1983).

2. DISPOSIÇÕES REGULAMENTARES

2.1 Regulamento Nacional RSA

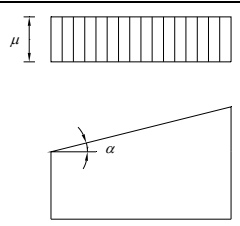
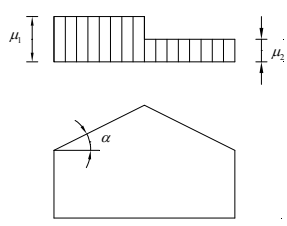
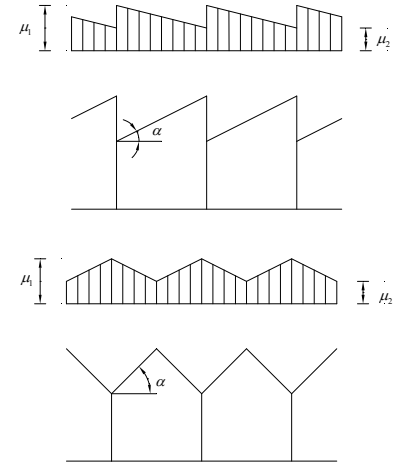
De acordo com o RSA (capítulo VI) a acção da neve deve ser tida em conta nos locais com altitude igual ou superior a 200 m situados nos distritos de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Bragança, Porto, Aveiro, Viseu, Guarda, Coimbra, Leiria, Castelo Branco e Portalegre.

A acção da neve pode ser geralmente considerada como uma carga distribuída cujo valor característico, por metro quadrado em plano horizontal, S (utilizando a nomenclatura do EC1), é dado por:

$$S = \mu \times S_k \quad (1)$$

Na eq. (1), S_k representa o valor característico, por metro quadrado, da carga da neve ao nível do solo, e μ é um coeficiente que depende da forma da superfície sobre a qual se deposita a neve, definido de acordo com o apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Coeficientes de forma para coberturas isoladas e múltiplas, com uma e duas pendentes simétricas (RSA, 1983).

Cobertura isolada com uma pendente	
	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \Rightarrow \mu = 0.8$ $30^\circ < \alpha < 60^\circ \Rightarrow \mu = 0.8 \cdot \frac{60 - \alpha}{30}$ $\alpha \geq 60^\circ \Rightarrow \mu = 0.0$
Cobertura isolada com duas pendentes simétricas	
	$0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ \Rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0.8$ $15^\circ < \alpha < 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0.8 \cdot \frac{15 + \alpha}{30}$ $\mu_2 = 0.8$ $30^\circ < \alpha < 60^\circ \Rightarrow \mu_1 = 1.2 \cdot \frac{60 - \alpha}{30}$ $\mu_2 = 0.8 \cdot \frac{60 - \alpha}{30}$ $\alpha \geq 60^\circ \Rightarrow \mu_1 = \mu_2 = 0.0$
Cobertura múltipla com uma pendente e com duas pendentes simétricas	
	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 0.8 \cdot \frac{20 + \alpha}{20}$ $\mu_2 = 0.8 \cdot \frac{20 - \alpha}{30}$ $\alpha > 30^\circ \Rightarrow \mu_1 = 2.0$ $\mu_2 = 0.0$

O valor de S_k é expresso em kN/m^2 em plano horizontal e é obtido através da expressão:

$$S_k = \frac{1}{400} \times (h - 50) \quad (2)$$

em que h é a altitude do local, expressa em metros e arredondada às centenas.

De acordo com o RSA, os valores reduzidos da acção da neve devem ser obtidos através dos seguintes coeficientes: $\psi_0 = 0.6$, $\psi_1 = 0.3$ e $\psi_2 = 0.0$.

2.2 Norma Espanhola NBE-AE/88

A norma Espanhola NBE (capítulo IV) considera a acção da neve sobre uma superfície horizontal como uma carga uniformemente distribuída ao longo da mesma, e que o seu valor pode ser fixado com base em dados estatísticos locais. Sendo os dados estatísticos inexistentes ou pouco fiáveis, a NBE propõe os valores da acção da neve em função da altitude topográfica da localidade de acordo com o apresentado na Tabela 2. Para as localidades em que não neva, a norma prevê a adopção de uma sobrecarga na cobertura não inferior a 0.4 kN/m^2 .

Tabela 2 – Sobrecarga da neve em função da altitude (NBE, 1988).

Altitude h (m)	Sobrecarga da neve S_k (kN/m^2)
0 a 200	0.4
201 a 400	0.5
401 a 600	0.6
601 a 800	0.8
801 a 1000	1.0
1001 a 1200	1.2
> 1200	$h/1000$

A sobrecarga da neve sobre a superfície de uma cobertura que forme um ângulo α com o plano horizontal, em graus, e que não ofereça impedimento ao deslizamento da neve, tende para o seguinte valor, S (por metro quadrado de projecção horizontal):

$$\alpha \leq 60^\circ \rightarrow S = p \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$\alpha > 60^\circ \rightarrow S = 0.0 \quad (4)$$

Na eq. 3, p representa a sobrecarga sobre uma superfície horizontal.

Caso a superfície da cobertura tenha obstáculos que impeçam o deslizamento natural da neve, o valor da sobrecarga da neve a adoptar será independente da inclinação da cobertura e igual à sobrecarga por metro quadrado em projecção horizontal com o valor p .

Aplicando o conceito de coeficiente de forma, a NBE prevê assim os seguintes valores: $\mu = \cos \alpha$ para $\alpha \leq 60^\circ$, $\mu = 0.0$ para $\alpha > 60^\circ$ e $\mu = 1.0$ nos casos em que existam obstáculos ao deslizamento natural da neve, independentemente do valor da inclinação da cobertura. Esta norma não considera o cálculo da acção da neve, nomeadamente do coeficiente de forma, em função do tipo de cobertura (isolada ou múltipla). Por esta razão, o

cálculo da acção da neve em coberturas múltiplas através da NBE não foi considerada na análise comparativa aqui apresentada.

2.3 Eurocódigo 1

Conforme o enunciado no EC1 (Parte 1.3), a quantificação da acção da neve em coberturas é feita com base na eq. (5):

$$S = \mu_i S_k C_e C_t \quad (5)$$

sendo: μ_i o coeficiente de forma da cobertura, S_k o valor característico ao nível do solo da acção da neve (em kN/m²), C_e o coeficiente de exposição (ver Tabela 3) e C_t o coeficiente térmico.

A quantificação da acção da neve ao nível do solo, S_k , expressa em kN/m², relativamente ao território Português, é feita com a seguinte expressão:

$$S_k = (0.19Z - 0.095) \left[1 + \left(\frac{A}{524} \right)^2 \right] \quad (6)$$

sendo: A a altitude (em m) e Z o número da Zona (Figura 4).

O EC1 considera para o território continental de Portugal duas zonas distintas, Zona 1 e Zona 2 (como representado na Figura 4), para efeitos da quantificação da acção da neve. Para as localidades situadas na Zona 1, o coeficiente Z assume o valor 1. Para as localidades situadas na Zona 2, ter-se-á $Z = 2$.

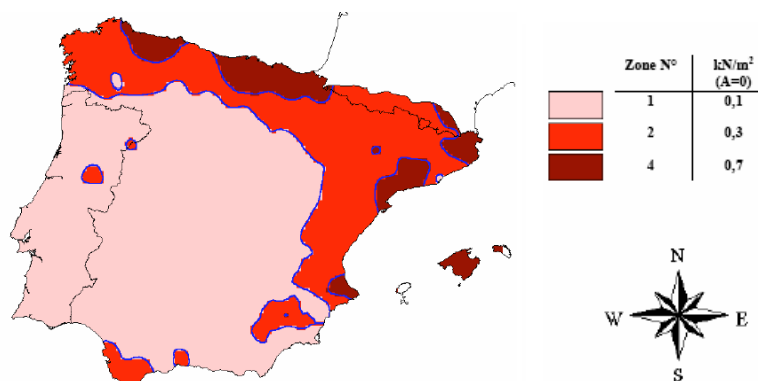


Figura 4 – Zonamento da Península Ibérica de acordo com o EC1 (2003).

Segundo o EC1, o valor do coeficiente de exposição, C_e , depende das características da topografia onde os edifícios estão inseridos e deve ter em conta o futuro desenvolvimento da construção na zona. Deve tomar o valor 1.0 a não ser que o edifício em causa esteja implantado numa área que obedeça a determinadas características topográficas, nomeadamente às apresentadas na Tabela 3. O EC1 considera três tipos de topografia: exposta, normal e abrigada. Por topografia exposta entendem-se áreas maioritariamente planas e desobstruídas, nas quais os edifícios em causa estão totalmente expostos, sem na sua proximidade se encontrarem edifícios mais altos ou árvores. Os edifícios nos quais não existe remoção significativa da neve das coberturas devida à acção do vento ou ao terreno e a outros edifícios, dizem-se localizados em zonas de topografia normal. A topografia diz-se abrigada

quando os edifícios nela localizados se encontram rodeados por edifícios mais altos e/ou por árvores altas, ou quando o próprio terreno que os circunda é mais elevado.

Tabela 3 – Valores do coeficiente de exposição (EC1, 2003).

Topografia	C_e
Exposta	0.8
Normal	1.0
Abrigada	1.2

O coeficiente térmico, C_t , é utilizado para a reduzir a acção da neve em coberturas de elevada transmissão térmica ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$). Nos restantes casos deve-se considerar $C_t = 1.0$.

O valor dos coeficientes de forma das coberturas, μ_1 e μ_2 , varia consoante a inclinação da cobertura (Tabela 4). Nos casos em que existam obstáculos à queda da neve nas coberturas, por exemplo parapeitos, o coeficiente de forma não deve ser considerado inferior a 0.8.

Tabela 4 – Coeficientes de forma das coberturas em função da sua inclinação (EC1, 2003).

Inclinação da cobertura (em relação à horizontal) α	μ_1	μ_2
$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	0.8	$0.8 + 0.8 \cdot \frac{\alpha}{30}$
$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$0.8 \cdot \frac{60 - \alpha}{30}$	1.6
$\alpha \geq 60^\circ$	0.0	0.0

Na Figura 5 são representados os coeficientes de forma, μ_1 e μ_2 , para os diferentes tipos de coberturas. O caso (i) refere-se à situação inicial, antes de qualquer redistribuição da neve devido a outras acções climáticas. Os casos (ii) e (iii) dizem respeito à distribuição da neve resultante do seu movimento devido a outras acções climáticas.

Para o caso das coberturas múltiplas, com uma pendente e com duas pendentes simétricas, o valor de μ_2 é determinado a partir da inclinação média das pendentes, α_m :

- Cobertura múltipla do tipo uma pendente:

$$\alpha_m = \frac{\alpha + 90^\circ}{2} \quad (7)$$

- Cobertura múltipla do tipo duas pendentes simétricas:

$$\alpha_m = \alpha \quad (8)$$

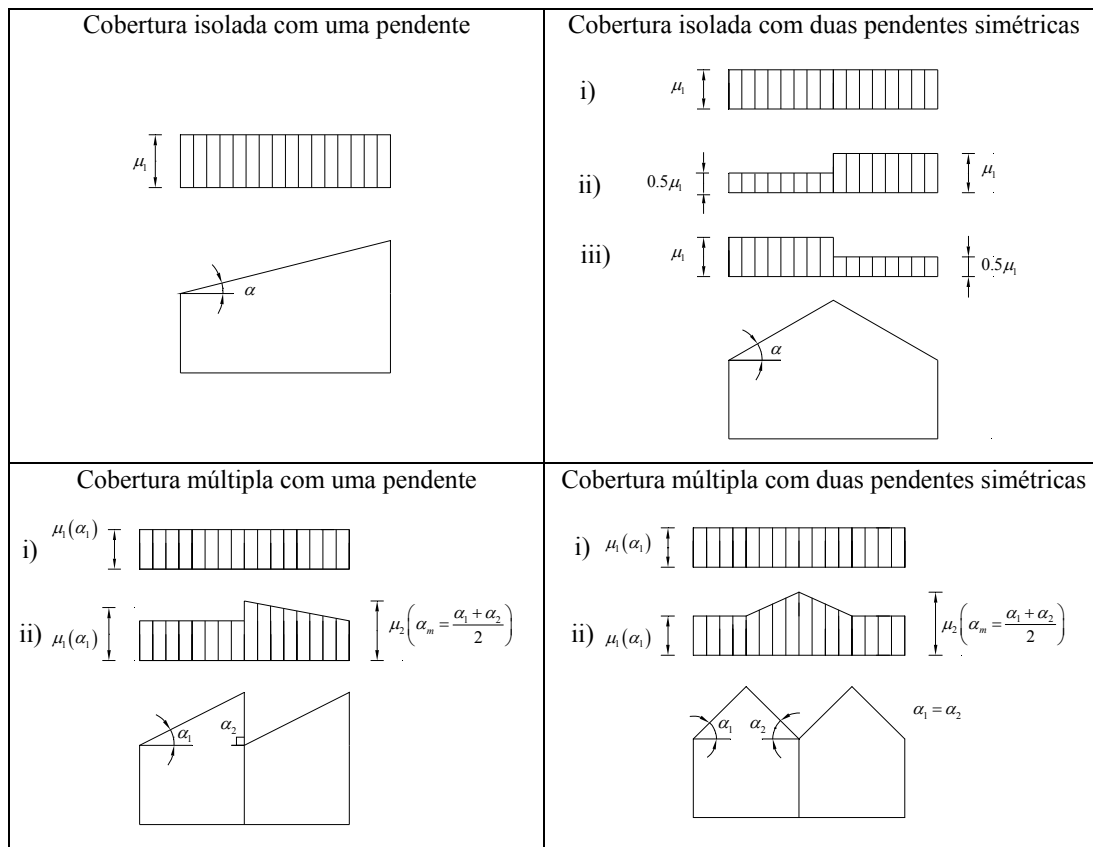


Figura 5 – Coeficientes de forma, μ_1 e μ_2 (EC1, 2003).

Os valores reduzidos da acção da neve devem ser obtidos a partir dos coeficientes indicados na Tabela 5.

Tabela 5 - Coeficientes para obtenção dos valores reduzidos da acção da neve (EC1, 2003).

Altitude	ψ_0	ψ_1	ψ_2
$h > 1000$ m	0.70	0.50	0.20
$h < 1000$ m	0.50	0.20	0.00

3. ANÁLISE COMPARATIVA

Para se poder analisar e comparar a quantificação da acção da neve ao nível das coberturas preconizada no RSA, na NBE e no EC1, foi necessário proceder primeiro à análise dos parâmetros intervenientes no seu cálculo. Foram assim determinados pelos três regulamentos o valor característico da acção da neve ao nível do solo e os coeficientes de forma, e feita a comparação dos valores obtidos através da NBE e do EC1 com os resultantes da aplicação do RSA. Por fim, foi feita a quantificação da acção da neve de acordo com o enunciado por cada regulamento e feita a análise comparativa em relação ao RSA.

3.1 Valor característico da acção da neve ao nível do solo, S_k

Na Figura 6 apresenta-se o valor da acção da neve ao nível do solo, expressa em kN/m^2 , em função da altitude e para as três normas em estudo.

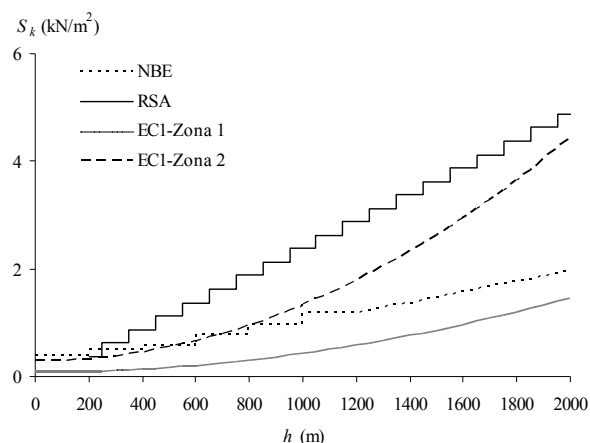


Figura 6 – Quantificação da acção da neve ao nível do solo (RSA, NBE, EC1).

Em relação aos valores obtidos através do RSA foram determinadas as seguintes variações máximas:

- NBE: 60% para altitudes de 1250 m;
- EC1, Zona 1: 85% para altitudes de 550 m;
- EC1, Zona 2: 56% para altitudes de 550 m.

Como se pode observar na Figura 6, para a maioria dos casos, o RSA fornece valores consideravelmente mais elevados da acção da neve ao nível do solo do que a NBE e o EC1. As maiores variações são verificadas em relação ao EC1.

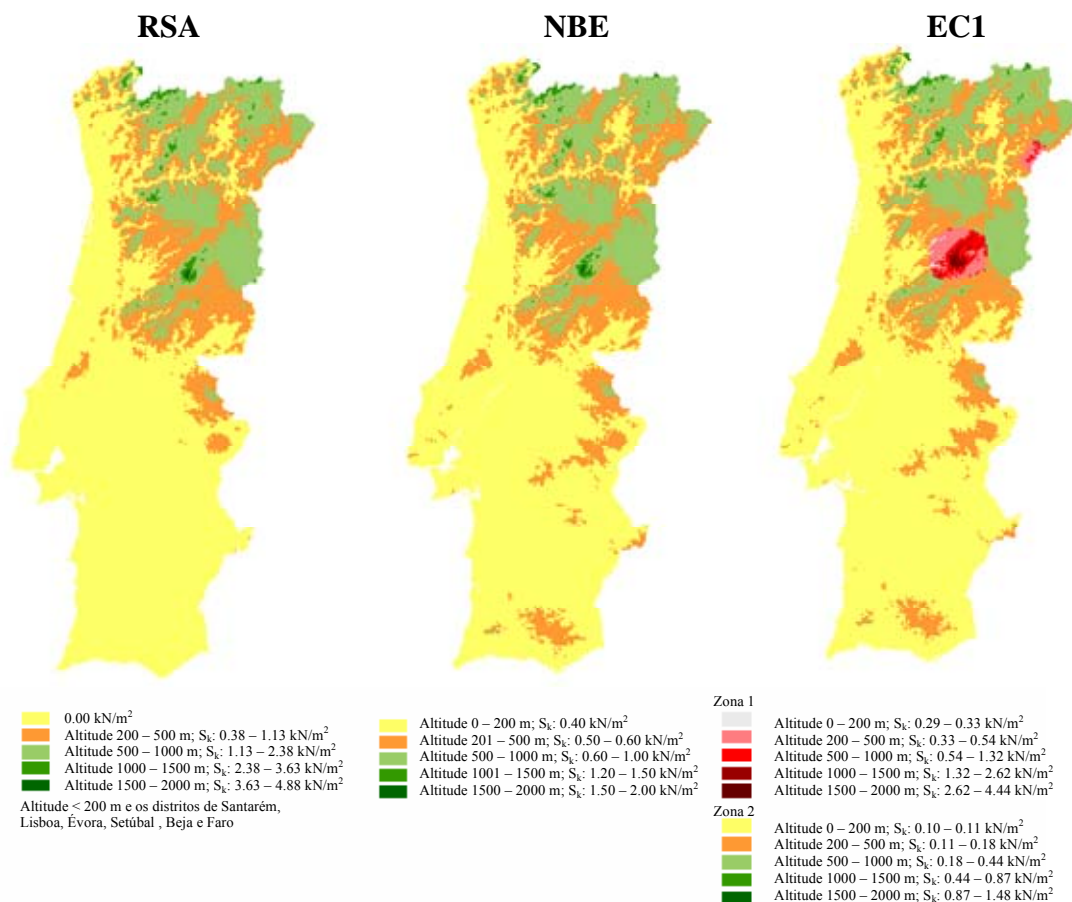


Figura 7 – Acção da neve ao nível do solo, S_k , em função da altitude de acordo com o RSA, a NBE e o EC1.

Da análise da Figura 7, onde é representada a distribuição do valor da acção da neve ao nível do solo para as normas em estudo, verificam-se diferenças significativas, destacando-se:

- O RSA considera nula a acção da neve ao nível do solo em zonas de altitude inferior a 200 m, ao contrário da NBE e do EC1;
- O EC1 divide o território português em duas zonas distintas, às quais vão corresponder valores de quantificação da acção da neve distintos em função da altitude. Esta divisão não é feita pelo RSA e pela NBE.

3.2 Coeficientes de forma das coberturas, μ

A Figura 8 apresenta para cada tipo de cobertura em análise, em função da sua inclinação, os coeficientes de forma a utilizar no cálculo da acção da neve, de acordo com o descrito nos regulamentos RSA, NBE e EC1. Nas situações em que os carregamentos não são simétricos nas coberturas, comparou-se o maior dos coeficientes de forma.

Como anteriormente referido, a NBE não define um coeficiente de forma em função do tipo de cobertura e da sua inclinação, adoptando o valor $\mu = 1$ ou $\mu = \cos \alpha$, consoante as coberturas tenham ou não obstáculos que impeçam a neve de cair, respectivamente. Foi assim considerado para as coberturas isoladas $\mu = \cos \alpha$. Tal como referido anteriormente, as coberturas múltiplas não foram consideradas nesta análise comparativa.

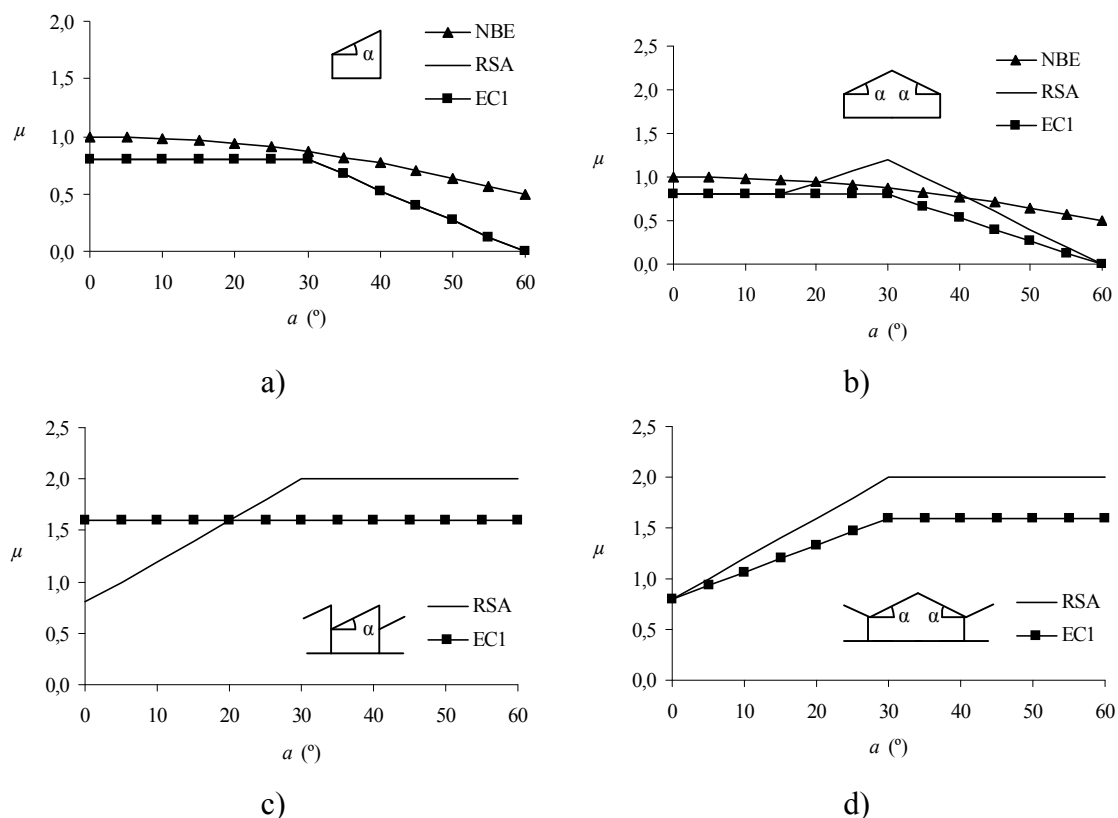


Figura 8 – Coeficientes de forma, μ , calculados de acordo com o RSA, a NBE e o EC1, para: a) coberturas isoladas com uma pendente; b) coberturas isoladas com duas pendentes simétricas; c) coberturas múltiplas com uma pendente; d) coberturas múltiplas com duas pendentes simétricas.

No caso das coberturas isoladas com uma pendente, os valores do coeficiente de forma são coincidentes para o RSA e para o EC1. A NBE apresenta valores superiores aos preconizados por estes dois regulamentos, apresentando uma variação máxima de cerca de 25% para $\alpha = 0^\circ$.

Para as coberturas isoladas com duas pendentes simétricas, os coeficientes de forma indicados pela NBE têm valores superiores, mas muito próximos dos preconizados pelo RSA, excepto para inclinações aproximadamente entre os 15° e 40° . Neste intervalo, a NBE apresenta valores inferiores aos do RSA, sendo a variação máxima igual a 28% para $\alpha = 30^\circ$. O EC1 exhibe coeficientes de forma inferiores aos dados pelo RSA para a maioria das situações, apresentando uma variação máxima de 33% para $\alpha = 30^\circ$.

Relativamente às coberturas múltiplas com uma pendente, o EC1 apresenta valores constantes para o coeficiente de forma, independentemente da inclinação da cobertura. Para inclinações até 20° , o EC1 aponta valores superiores aos indicados pelo RSA, com uma variação máxima de 100% para $\alpha = 0^\circ$. Para as restantes inclinações os valores do EC1 são superiores aos do RSA, com uma variação máxima de 20%.

No caso das coberturas múltiplas com duas pendentes simétricas, o EC1 apresenta para a generalidade dos casos (inclinações superiores a aproximadamente 5°) coeficiente de forma de valor inferior aos do RSA. O EC1 apresenta uma variação máxima, respectivamente de 20% para $\alpha = 30^\circ$.

Uma diferença significativa entre o RSA, o EC1 e a NBE, reside no facto de os dois primeiros considerarem coeficientes de forma nulos para os casos de coberturas isoladas com inclinações igual ou superior a 60° , ao contrário da NBE, que ainda contempla a inclinação igual a 60° .

De um modo geral, os coeficientes de forma calculados através do RSA apresentam valores superiores aos obtidos pela NBE e pelo EC1, sendo estas diferenças significativas na maioria dos casos.

3.3 Quantificação da acção da neve ao nível das coberturas, S

A acção da neve ao nível das coberturas foi determinada com base no estabelecido no RSA, na NBE e no EC1, de acordo com as expressões (1), (3) e (4), e (5), respectivamente. O cálculo foi feito para os quatro tipos de coberturas em análise e para as inclinações $\alpha = 10^\circ$, 20° , 30° , 40° e 50° , e ainda 60° para as coberturas múltiplas. Mais uma vez refere-se que o cálculo da acção da neve para as coberturas múltiplas através da NBE não foi considerado nesta análise comparativa. Nos cálculos efectuados considerou-se um coeficiente de exposição normal. Em cada caso a quantificação foi feita em função da altitude, entre os 200 e 2000 m. No entanto, importa salientar que em Portugal poucas regiões estão situadas a uma altitude superior a 1500 m. Na Tabela 6 resumem-se as principais conclusões de todas as comparações de valores obtidos através da NBE e do EC1 com os determinados de acordo com o estabelecido pelo RSA para todas as situações analisadas. A apresentação, análise e interpretação de todas as situações pode ser encontrada em Simões (2005). Na maioria dos casos observou-se que para os valores mais baixos e mais elevados da altitude, as diferenças entre os valores obtidos pelas três normas tornam-se menores. Os resultados relativos ao EC1 têm em consideração as duas zonas contempladas por esta norma. Na Figura 9 apresenta-se graficamente um exemplo das quantificações realizadas, correspondente ao caso de uma cobertura isolada com duas pendentes simétricas com inclinação igual a 30° .

Tabela 6 – Comparação dos valores obtidos através da NBE e do EC1 para a quantificação da acção da neve ao nível das coberturas, com os resultantes da aplicação do RSA.

Tipo de cobertura	Isolada com uma pendente	NBE	Para pequenas altitudes, até aproximadamente 350 m, os valores são superiores aos calculados pelo RSA. Para inclinações entre os 0° e 40°, é registada uma variação máxima igual a 88% para 40°. Para a inclinação máxima de 50°, a variação máxima observada é 215%. Para maiores altitudes, os valores são inferiores aos do RSA, sendo a variação máxima igual a 57% para 30°.
		EC1	Os valores são sempre inferiores aos do RSA. A variação máxima é de 85% para todos os casos considerados.
	Isolada com duas pendentes simétricas	NBE	Para pequenas altitudes, até cerca de 300 m, a NBE fornece resultados superiores aos do RSA com variação máxima de 110% para inclinações de 50°. Para as maiores altitudes, os valores resultantes são inferiores aos do RSA com uma variação máxima de 72%.
		EC1	Os valores são maioritariamente inferiores aos do RSA. A variação máxima obtida é de 90% para as inclinações iguais e superiores a 30°.
	Múltipla com uma pendente	NBE	Não se aplica.
		EC1	Os valores obtidos são maioritariamente inferiores aos do RSA. A variação máxima obtida é igual a 88% para as inclinações iguais e superiores a 30°. Para inclinações nulas e para a Zona 2, os valores são na sua generalidade superiores aos do RSA, com uma variação máxima de 87%.
	Múltipla com duas pendentes	NBE	Não se aplica.
		EC1	Os valores obtidos são sempre inferiores aos do RSA. A variação máxima obtida é igual a 88% para as inclinações iguais e superiores a 30°.

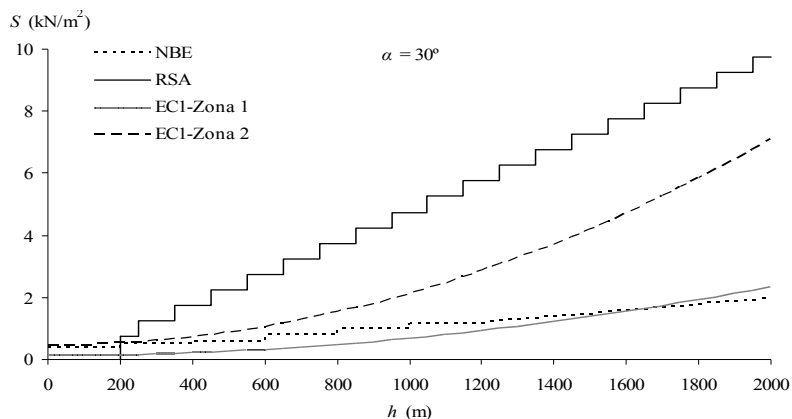


Figura 9 – Quantificação da acção da neve, S , de acordo com o RSA, a NBE e o EC1, para uma cobertura isolada com duas pendentes simétricas ($\alpha = 30^\circ$).

4. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

A quantificação da acção da neve em coberturas feita através da regulamentação nacional em vigor, o RSA, conduz a valores muito distintos dos calculados pela NBE e pelo EC1, sendo na maioria dos casos significativamente superiores aos valores dados por estas normas.

As três normas têm abordagens muito distintas no que toca à quantificação da acção da neve. A abordagem do EC1 apresenta semelhanças com a abordagem do RSA. No entanto, é muito mais elaborada do que esta, entrando em conta com outros parâmetros para além do tipo de cobertura, da sua inclinação, e da altitude do local. Já a NBE, em comparação com as outras duas normas, faz uma abordagem muito simplificada da quantificação da acção da neve, não considerando a influência do tipo de cobertura nem da sua inclinação.

Da análise das diferenças encontradas entre as normas estudadas para a quantificação da acção da neve, conclui-se que os valores dados pelo RSA são na maioria dos casos superiores, quando comparados com a NBE e o EC1.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BBC News*: <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/4576588.stm>
<http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/4579200.stm>
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/4661030.stm>;
- Eurocode 1 – Action on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads*, European Committee for Standardization, Brussels (2003);
- NBE-AE/88: Acciones en la edificación*, REAL DECRETO 1370/1988, de 25 de Julio, Espanha (1988);
- Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes*, Decreto-Lei n.º 235/83, de 31 de Maio, Porto Editora (1983);
- Simões, P., *Acção da neve: Abordagem comparativa do RSA relativamente às normas NBE e EC1*, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro (2005).