

## MONOPOLOS AUTO-SUPORTADOS PARA TELECOMUNICAÇÕES: A INFLUÊNCIA DA LOCALIZAÇÃO E DA GEOMETRIA DA ESTRUTURA NA DEFINIÇÃO DA AÇÃO DO VENTO



João Filipe

Bolseiro  
LNEC  
Lisboa  
jfilipe@lnec.pt



Rui Travanca

Engenheiro Civil  
Universidade de Aveiro  
Aveiro  
rui.travanca@ua.pt



António M. Baptista

Investigador Principal  
LNEC  
Lisboa  
ambaptista@lnec.pt



Manuel Pipa

Investigador Principal  
LNEC  
Lisboa  
mpipa@lnec.pt

### SUMÁRIO

Neste trabalho são apresentados e discutidos os resultados obtidos num estudo paramétrico realizado com o intuito de quantificar a influência relativa da localização e das características geométricas do fuste dos monopolos auto-suportados, utilizados no suporte de equipamentos para telecomunicações aquando da definição da ação do vento a que se encontram sujeitos. Pretendeu-se ainda conhecer a importância global destes parâmetros na análise e dimensionamento deste tipo de estruturas.

**Palavras-chave:** Monopolos auto-suportados para telecomunicações; Ação do vento; Estudo paramétrico; Localização da estrutura; Características da estrutura.

### 1. INTRODUÇÃO

As torres para telecomunicações são um dos principais suportes físicos para a instalação de antenas utilizadas para a emissão e receção de ondas eletromagnéticas, e que permitem serviços diversos, tais como rádio, televisão ou comunicações móveis. De entre este tipo de estruturas, existem as torres com estrutura tubular, designadas de monopolos, e as torres treliçadas, auto-suportadas ou espiadas, sendo os monopolos auto-suportados as estruturas mais utilizadas em Portugal no sector das comunicações móveis [1,2].

Em Portugal, e devido à orografia do território nacional, as estruturas utilizadas apresentam uma altura média de 35 m e uma altura máxima de 50 m, com secções transversais cujo diâmetro pode variar entre 30 cm e 130 cm, e com espessuras de parede entre 4 mm e 9 mm [1,2].

Em função da geometria da secção transversal do seu fuste, os monopolos auto-suportados podem agrupar-se em duas tipologias distintas: tipo 1 - monopolos com secção transversal de forma circular, não existindo variação do diâmetro exterior nem da espessura da parede ao longo de cada troço, sendo as ligações entre os vários troços realizada através de flanges aparafusadas; e: tipo 2 - monopolos com secção transversal em forma de polígono (com 8, 12 ou 16 arestas) constituídos por troços com fuste de forma cónica, ou seja, apresentando uma alteração das dimensões das secções transversais ao longo da altura do troço, sendo que a espessura de parede mantém-se inalterável ao longo do troço, e sendo as ligações geralmente realizadas por encaixe forçado. Na Figura 1 encontram-se apresentadas as duas tipologias descritas.



a) Monopolo do tipo 1.



b) Monopolo do tipo 2.

Figura 1. Exemplos das duas tipologias de monopolos auto-suportados.

Para além das antenas, componente essencial do sistema de comunicações rádio, este tipo de estruturas possuem ainda outros equipamentos variados, com diferentes funções, como as escadas, os caminhos de cabos, as plataformas de trabalho, as interfaces de antenas e outros equipamentos diversos.

Por razões económicas e funcionais relativas à sua própria natureza, os monopolos auto-suportados são estruturas leves, apresentando elevada esbelteza e grande flexibilidade. As ações predominantes a considerar na análise e dimensionamento deste tipo de estruturas são ações de natureza aleatória, nomeadamente, a ação do vento ou a ação combinada do vento e do gelo. Devido à sua função, estas estruturas são geralmente instaladas em zonas elevadas e amplas, sem grandes obstáculos, conduzindo a uma maior exposição à ação do vento, que torna ainda mais condicionante esta ação [1,2].

Torna-se assim importante estudar e compreender a ação do vento sobre este tipo de estruturas, nomeadamente no que se refere à influência da localização, ou seja, tipo de zona, categoria e orografia do terreno, bem como da influência das diversas características da estrutura, tais como altura, geometria das secções transversais e tipo de revestimento do fuste.

Este trabalho encontra-se dividido em duas partes distintas: na primeira parte será analisada a influência da localização da estrutura, e na segunda parte será analisada a influência das características geométricas da estrutura aquando da definição da ação do vento.

Todas as análises realizadas têm como base a comparação de resultados obtidos para as forças de corte basal e para o deslocamento e/ou a rotação obtidos para o topo da estrutura, tendo em consideração as diferentes localizações e características geométricas, e com o objetivo claro de quantificar os acréscimos que as diferentes situações provocam.

## 2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

### 2.1 Considerações iniciais

Neste trabalho foram objeto de estudo quatro monopolos auto-suportados, existentes e em serviço, nomeadamente dois monopolos com 30 m de altura e dois monopolos com 40 m de altura, tendo-se considerado, para cada uma das alturas, as duas tipologias anteriormente definidas. As características geométricas dos monopolos estudados são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1. Características geométricas dos monopolos estudados.

Monopolo	Secção	Tronco	Altura (m)	Diâmetro na base (mm)	Diâmetro no topo (mm)
A	Circular	Cilíndrico	30	812,8	406,4
B	Circular	Cilíndrico	40	1016,0	406,4
C	Hexadecagonal	Cónico	30	990,0	300,0
D	Hexadecagonal	Cónico	40	1304,0	400,0

Das análises realizadas foram obtidos os valores máximos de diversas variáveis de estudo, designadamente: i) esforço transversal ( $V_0$ ) e momento fletor ( $M_0$ ) obtidos para a base da estrutura; e, ii) deslocamento horizontal ( $u_1$ ) e rotação ( $\theta_1$ ) obtidos para o topo da estrutura, sendo posteriormente comparadas e discutidas as influências dos parâmetros estudados nos resultados obtidos.

De uma forma geral, a força exercida pela ação do vento ( $F_w$ ) sobre um monopolo é dada pela soma das forças que atuam em cada componente de forma isolada, e obtidas pela seguinte expressão [3,4]:

$$F_w = c_s c_d \times c_f \times q_p(z_e) \times A_{ref} \quad (1)$$

Em que  $c_s c_d$  é o coeficiente estrutural,  $c_f$  é o coeficiente de força,  $q_p(z_e)$  é a pressão dinâmica de pico à altura de referência  $z_e$  para a pressão exterior exercida pelo vento, e  $A_{ref}$  é a área de referência.

Para definição da ação do vento sobre a estrutura foram utilizados modelos discretos, com a aplicação das forças resultantes da ação do vento com intervalos de 1 m, da base até ao topo da estrutura. Dado o propósito deste estudo, não foram considerados quaisquer tipos de equipamentos instalados, como p.ex. antenas, escadas, caminhos de cabos, interfaces de antenas e/ou quaisquer outros equipamentos.

Acrescente-se ainda que nos modelos realizados não foram consideradas eventuais perdas de rigidez por interação solo-estrutura ou devidas às ligações entre os diversos troços, algo que não será desprezável neste tipo de estruturas mas que ainda está a ser alvo de um estudo mais aprofundado [5,6].

## 2.2 Influência da localização do monopolo auto-suportado

A localização influencia a definição da ação do vento sobre a estrutura através da variável pressão dinâmica de pico ( $q_p$ ). Este parâmetro é totalmente independente da estrutura, sendo o seu valor obtido pela seguinte expressão [4]:

$$q_p = [1 + 7 \times I_v(z)] \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z) \quad (2)$$

Em que  $I_v(z)$  é a intensidade de turbulência à altura  $z$ ,  $\rho$  é a massa volúmica do ar e  $v_m(z)$  é a velocidade média do vento à altura  $z$ .

A pressão dinâmica de pico ( $q_p$ ) é influenciada por três parâmetros fundamentais: i) tipo de zona; ii) categoria de terreno onde se insere a estrutura; e, iii) efeito de um acidente orográfico. Apresentam-se seguidamente os resultados obtidos na análise efetuada para cada um destes parâmetros.

### 2.2.1 Influência do tipo de zona e da categoria de terreno

De acordo com o EC1 [4] existem dois tipos de zonas (A e B) que dependem da altitude e da distância à costa marítima, e quatro categorias de terrenos (I, II, III e IV) que dependem da rugosidade do terreno e da sua interferência com o escoamento do ar, tal como apresentado no Quadro 2 e no Quadro 3.

Quadro 2. Zonamento do território nacional quanto à ação do vento.

Zona	Descrição
A	Generalidade do território, exceto as regiões pertencentes à zona B.
B	Arquipélagos dos Açores e da Madeira, e regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600 m.

Quadro 3. Categorias de terreno quanto à ação do vento.

Categoria	Descrição
I	Zona costeira exposta aos ventos do mar.
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si, de, pelo menos, 20 vezes a sua altura.
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes).
IV	Zona na qual pelo menos 15% da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m.

Para se compreender a influência que a variação destes dois parâmetros tem na definição da ação do vento, foram consideradas todas as combinações possíveis de tipos de zona e de categorias de terreno onde os monopolos poderão estar instalados, com exceção de terrenos da categoria I situados na zona A, dado que estas duas condições são incompatíveis.

Analisando a variação dos valores das variáveis em estudo ( $V_0$ ,  $M_0$ ,  $u_1$  e  $\theta_1$ ) no caso do monopolo B (ver Quadro 1) instalado num terreno situado numa das seis combinações zona/categoria de terreno indicadas na Figura 2, em comparação com a situação de referência (correspondente a um monopolo B instalado num terreno da categoria IV na zona A), verifica-se que a alteração do tipo de zona e da categoria de terreno são fatores importantes na definição da ação do vento. Acrescente-se que os resultados apresentados e discutidos para o monopolo B são representativos dos obtidos com os restantes monopolos estudados, pelo que se considerou desnecessária a apresentação destes últimos.

A Figura 2 mostra um aumento muito significativo (até cerca de 140%) nos valores de todas as variáveis em estudo, quando o monopolo B passa da situação de referência para um terreno da categoria I situado na zona B, o que atesta a importância destes parâmetros na definição da ação do vento.

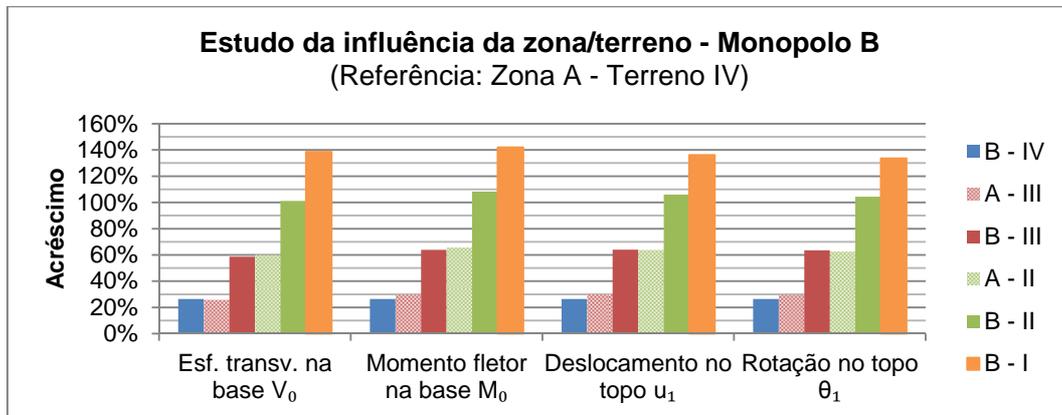


Figura 2. Variação das variáveis de estudo do monopolo B, com o tipo de zona e categoria de terreno.

Também se verifica que a variação da ação do vento é semelhante quando a localização do monopolo passa de um terreno menos exposto situado na zona B para um terreno mais exposto situado na zona A, uma vez que os efeitos da variação de zona e da categoria do terreno são, neste caso, da mesma ordem de grandeza, anulando-se mutuamente (Figura 2).

Os valores médios das alterações observadas nas variáveis em estudo, correspondentes aos diferentes cenários possíveis de alteração do tipo de zona e da categoria de terreno, são apresentados na Figura 3. Esta figura permite constatar que, com exceção da passagem do monopolo de um terreno da categoria II para um terreno da categoria I, as consequências da variação da zona A para a zona B são bastante semelhantes às da passagem de uma categoria de terreno para a categoria de terreno imediatamente anterior (mais exposta à ação do vento). No primeiro caso o aumento relativo dos valores das variáveis em estudo é de cerca de 15% a 20%, enquanto nos restantes casos o referido aumento é de cerca de 25% a 30%.

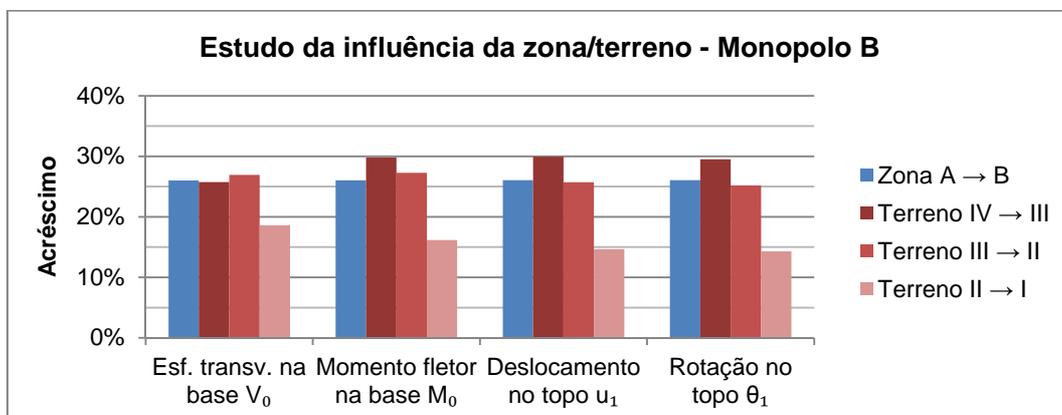


Figura 3. Variações médias das variáveis em estudo do monopolo B, para os diferentes cenários possíveis de alteração do tipo de zona e da categoria de terreno.

### 2.2.2 Influência da orografia do terreno

Para além da localização da estrutura, caracterizada através do tipo de zona e da categoria de terreno, deve ser avaliado, no cálculo da pressão dinâmica de pico ( $q_p$ ), o efeito agravante da orografia. Este efeito, devido à existência de colinas ou de falésias, provoca um aumento das velocidades do vento junto ao solo. No caso de este aumento ser superior a 5%, os efeitos correspondentes deverão ser considerados através do coeficiente de orografia ( $c_o$ ). No entanto, os efeitos da orografia poderão ser desprezados quando o declive médio do terreno a barlavento,  $\Phi$  (Figura 4), tomado em consideração até uma distância de dez vezes a altura do elemento orográfico isolado, for inferior a  $3^\circ$  [4].

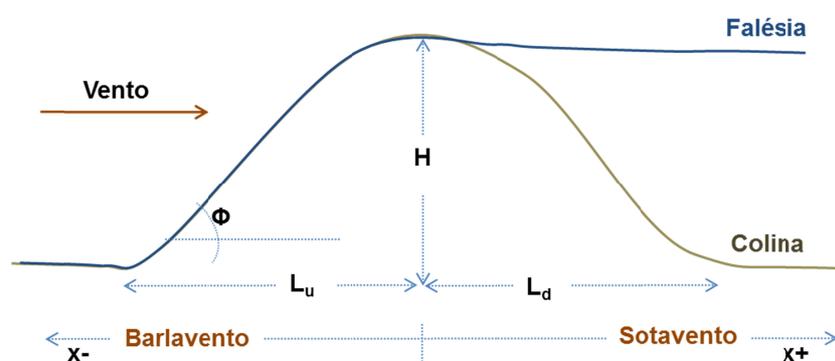


Figura 4. Definição das dimensões de uma colina e de uma falésia.

Por razões inerentes à sua própria função, os monopolos são frequentemente instalados nas vertentes ou no topo de acidentes orográficos. Assim, neste estudo procedeu-se à análise da influência deste fator na definição da ação do vento, através da alteração das variáveis envolvidas (inclinação  $\Phi$  e comprimento  $L_d$ ).

Os resultados obtidos, no caso do estudo do monopolo B (ver Quadro 1), com a alteração da inclinação  $\Phi$  de uma falésia em função da altura  $H$ , são apresentados na Figura 5. A Figura 6 apresenta os resultados obtidos com a alteração da inclinação  $\Phi$  de uma falésia em função do comprimento  $L_u$ . Os resultados apresentados correspondem à variação média das variáveis de estudo em relação à situação de referência, correspondente a um monopolo localizado em terreno plano.

A Figura 5 mostra que quanto maior for a inclinação da vertente a barlavento maior é o valor médio do acréscimo das variáveis de estudo ( $V_0$ ,  $M_0$ ,  $u_1$  e  $\theta_1$ ), relativamente à situação de referência (monopolo localizado em terreno plano), sendo os valores dos acréscimos muito significativos. Constata-se ainda que o maior agravamento corresponde à localização da estrutura no topo da falésia, sendo que, à medida que a distância horizontal da estrutura ao topo da falésia aumenta, os efeitos da orografia vão diminuindo gradualmente. Porém, os resultados apresentados na Figura 5 e na Figura 6 mostram que o agravamento da ação do vento ao longo de falésias com inclinações iguais da vertente a barlavento é diferente nos dois cenários representados nestas figuras.

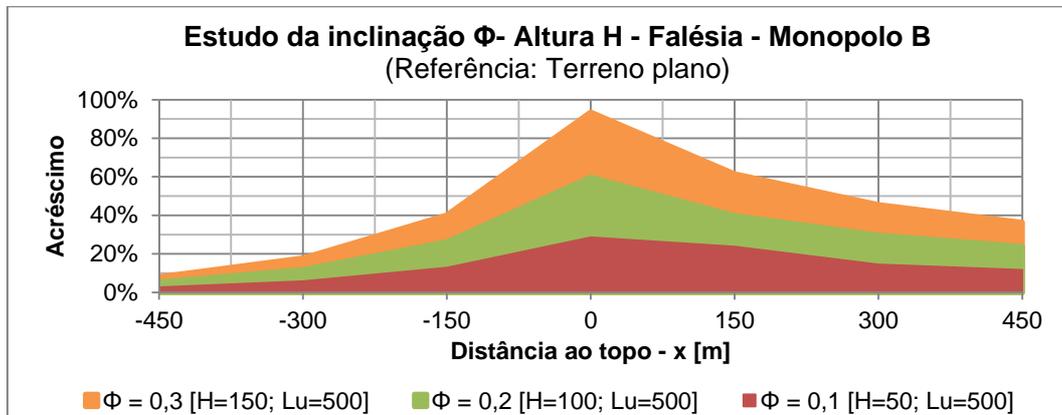


Figura 5. Variação média das variáveis de estudo do monopolo B, com a alteração da inclinação  $\Phi$  de uma falésia, em função da altura H.

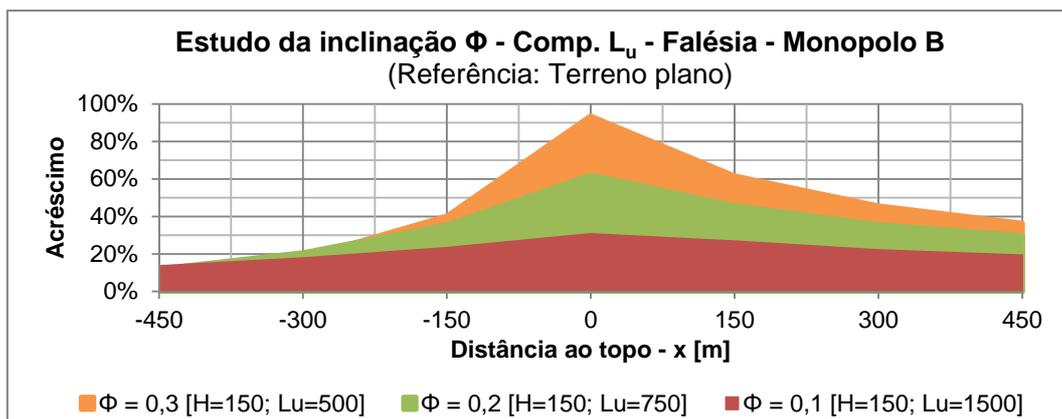


Figura 6. Variação média das variáveis de estudo do monopolo B, com a alteração da inclinação  $\Phi$  de uma falésia, em função do comprimento  $L_u$ .

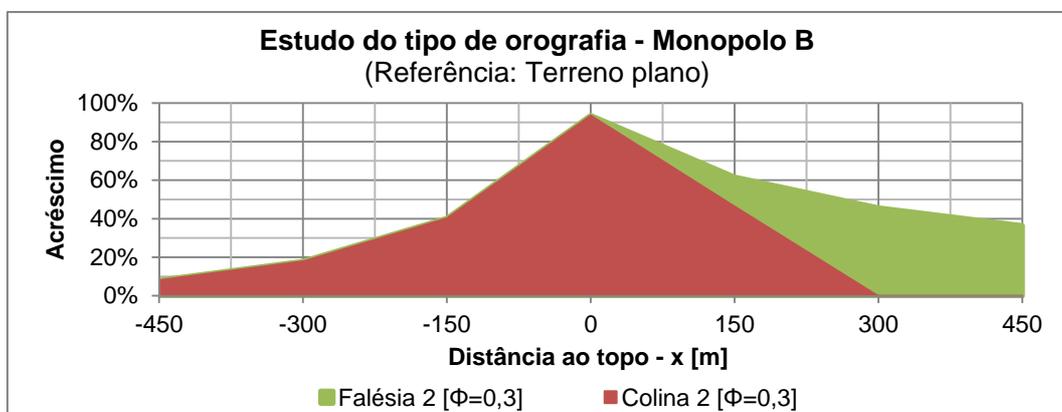


Figura 7. Variação média das variáveis de estudo do monopolo B, nos casos de uma falésia e de uma colina com a mesma inclinação  $\Phi$  a barlavento.

Foi também analisada a influência que o tipo de acidente orográfico poderia ter na ação do vento, através da comparação do acréscimo das variáveis de estudo, em relação à situação de referência, no caso de colinas e de falésias com iguais inclinações a barlavento.

Os resultados apresentados na Figura 7 mostram que, tanto no caso da falésia, como no caso da colina, com inclinações  $\Phi=0,3$  a barlavento, a variação das variáveis de estudo na vertente a barlavento é a mesma, o que indica que a ação do vento nesta vertente é independente do tipo de acidente orográfico. No entanto, na vertente a sotavento observa-se que, no caso de uma colina o efeito da orografia se prolonga por uma distância bastante maior, em comparação com o efeito da orografia no caso de uma falésia. O facto de o escoamento do ar sofrer alterações na trajetória faz com que a sua intensidade seja menor para uma estrutura situada numa colina, a igual distância do topo.

Interessa assim analisar a influência, no caso de uma colina, do comprimento da vertente virada a sotavento ( $L_d$ ) na ação do vento sobre um monopolo situado nessa vertente. Para tal foram considerados três casos de colinas com diferentes comprimentos da vertente virada a sotavento, mas com a mesma inclinação da vertente virada a barlavento. Mais uma vez, apresentam-se os resultados do acréscimo médio das variáveis de estudo ( $V_0$ ,  $M_0$ ,  $u_1$  e  $\theta_1$ ), no caso de um monopolo B (ver Quadro 1), em relação à situação de terreno plano.

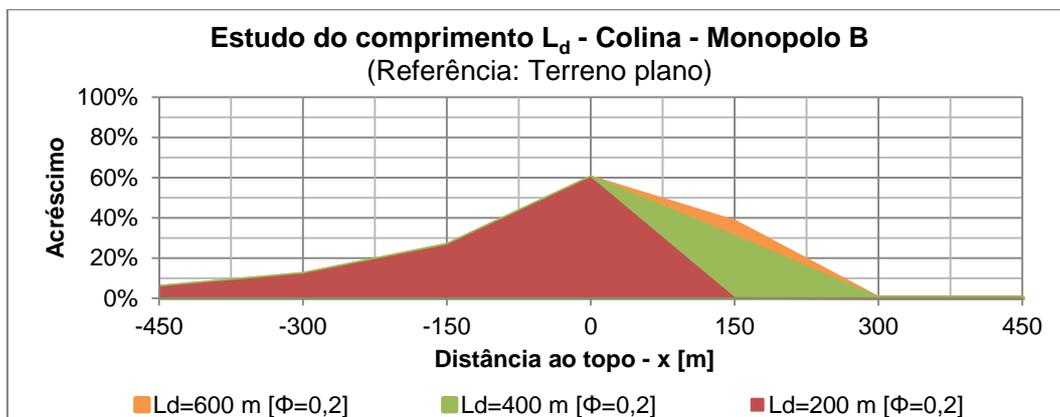


Figura 8. Variação média das variáveis de estudo do monopolo B, nos casos de colinas com a mesma inclinação da vertente virada a barlavento e diferentes comprimentos da vertente virada a sotavento.

Verifica-se que o aumento do comprimento da vertente a sotavento ( $L_d$ ) faz com que a ação do vento seja maior para iguais distâncias do topo. Porém, na vertente a barlavento não se verifica qualquer variação dos valores das variáveis de estudo com a alteração do comprimento da vertente a sotavento, devido ao facto de as dimensões da vertente a barlavento serem iguais em todos os casos. Este facto permite atestar que somente a alteração da inclinação a barlavento faz com que a ação do vento nesta vertente seja diferente.

Em suma, depois da análise dos efeitos de todos os parâmetros, verifica-se que a orografia do terreno tem uma grande influência aquando da definição da ação do vento sobre monopolos auto-suportados. Se considerarmos ainda que este tipo de estruturas, pelas razões já mencionadas, são frequentemente instaladas perto do topo de colinas ou falésias, conclui-se que a orografia ganha uma importância crucial na análise e dimensionamento deste tipo de estruturas, pelo que a sua influência não deve ser desprezada.

### 2.3 Influência das características geométricas do monopolo auto-suportado

A ação do vento sobre monopolos auto-suportados é também influenciada pelas diferentes características geométricas destas estruturas, como a forma e dimensão do monopolo, que afetam sobretudo os coeficientes de força e a área de referência exposta à ação do vento.

A variação da altura do monopolo altera a área exposta à ação do vento, e a mudança de geometria da secção transversal do fuste interfere com o escoamento do ar. As consequências destas variações traduzem-se ao nível dos valores dos coeficientes de força a aplicar, na distribuição em altura das áreas expostas e no comportamento dinâmico da estrutura.

Como referido anteriormente, o fuste pode apresentar uma secção circular ou uma secção transversal poligonal (com 8, 12 ou 16 arestas). O coeficiente de força ( $c_f$ ) é obtido através da seguinte expressão [4]:

$$c_f = c_{f,0} \times \Psi_\lambda \quad (3)$$

Em que  $c_{f,0}$  é o coeficiente de força para elementos estruturais sem livre escoamento em torno das extremidades, e  $\Psi_\lambda$  é o coeficiente de efeitos de extremidade.

Apresentam-se seguidamente as análises realizadas sobre a influência, nos valores dos coeficientes de força, das características geométricas de monopolos auto-suportados, mais concretamente: i) influência da altura do monopolo; e, ii) influência do tipo de secção do fuste.

#### 2.3.1 Influência da altura do monopolo

A generalidade dos monopolos auto-suportados instalados em território nacional tem uma altura compreendida entre 30 m e 40 m, existindo uma diferença evidente, ao nível da área de incidência do vento, entre monopolos com diferentes alturas.

Através da comparação entre os resultados obtidos para monopolos do mesmo tipo, i.e. monopolos A e B para a tipologia 1 (ver Quadro 1), e monopolos C e D para a tipologia 2, com alturas de 30 m e 40 m, verificou-se que os acréscimos das variáveis de estudo ( $V_0$ ,  $M_0$ ,  $u_1$  e  $\theta_1$ ) com o aumento da altura são significativos.

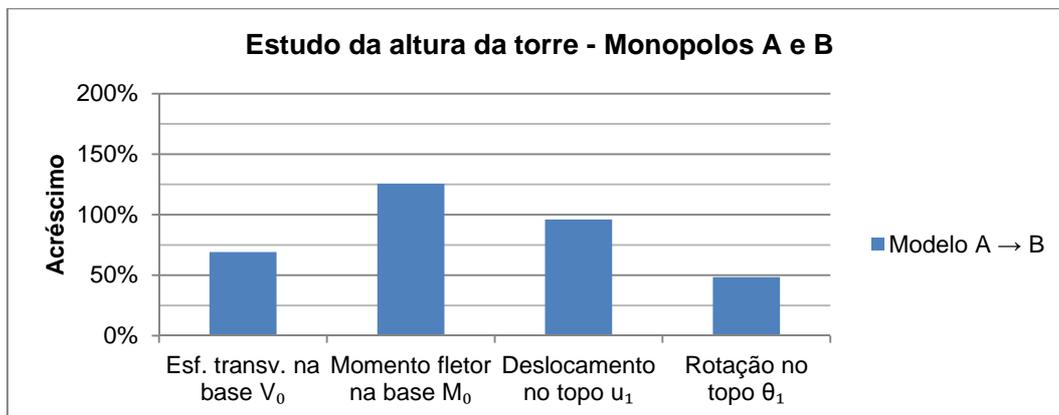


Figura 9. Acréscimos das variáveis de estudo devidos à diferença entre as alturas dos monopolos A e B.

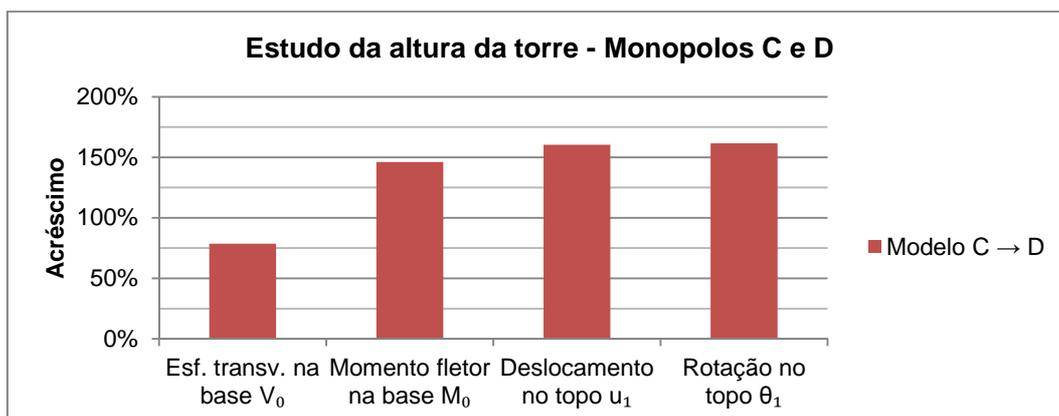


Figura 10. Acréscimos das variáveis de estudo devidos à diferença entre as alturas dos monopolos C e D.

Os resultados apresentados na Figura 9 e na Figura 10 mostram que o aumento da altura, de 30 m para 40 m, no caso de monopolos com a mesma tipologia, tem uma grande influência nos resultados obtidos.

Entretanto, salienta-se mais uma vez que nas análises efetuadas não foram consideradas perdas de rigidez devidas à interação solo-estrutura ou às ligações, que poderão tornar estas diferenças ainda mais expressivas [5,6]. Este assunto está atualmente a ser alvo de um estudo mais aprofundado.

### 2.3.2 Influência do tipo de secção do monopolo

Para além da altura da estrutura, também a geometria da secção transversal do fuste pode afetar a ação do vento.

Os coeficientes de força de secções circulares dependem sobretudo do revestimento da superfície [3,4]. Assim, foram definidos três casos diferentes de monopolos do tipo 1,

constituídos por monopólos A e B (ver Quadro 1), com diferentes revestimentos na sua superfície. Os resultados apresentados na Figura 11 representam o acréscimo médio das variáveis de estudo ( $V_0$ ,  $M_0$ ,  $u_1$  e  $\theta_1$ ), relativamente à situação de referência, constituída por um monopólo com revestimento por pintura lisa.

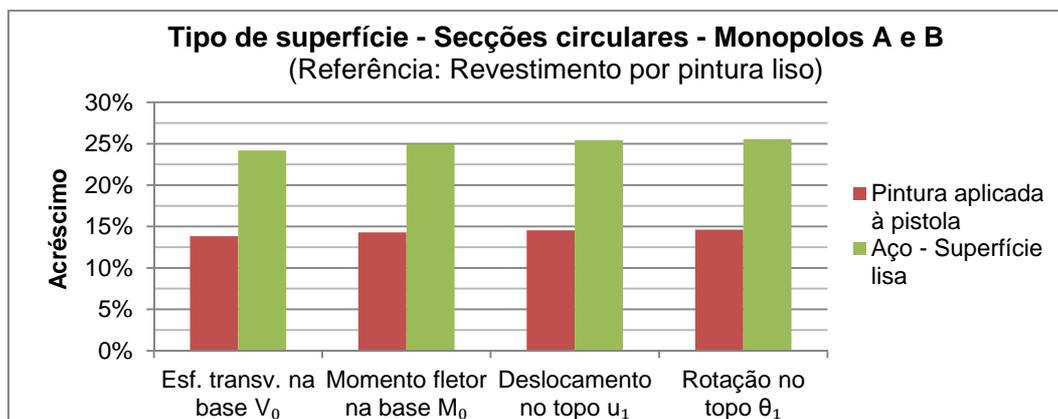


Figura 11. Variações das variáveis de estudo dos monopólos A e B, com secção circular e diferentes revestimentos na sua superfície.

Os acréscimos das variáveis de estudo em relação à situação de referência permitem verificar que a escolha do tipo de revestimento tem consequências significativas.

Estes acréscimos são consequência da variação dos coeficientes de força com a alteração do tipo de superfície. O facto de a superfície dos troços ser mais rugosa faz com que o escoamento do ar ocorra com maior dificuldade, justificando assim o agravamento observado na Figura 11.

Apesar de, por razões de durabilidade, a generalidade dos monopólos serem revestidos por uma pintura, verifica-se que qualquer alteração do seu revestimento pode ter uma influência importante na ação do vento sobre a estrutura.

No caso dos monopólos do tipo 2, a determinação do coeficiente de força depende sobretudo da geometria da secção transversal dos seus troços. Foram assim definidos três casos diferentes de monopólos desta tipologia, compostos por monopólos C e D (ver Quadro 1), com secções transversais poligonais regulares com 8, 12 e 16 lados, respetivamente. Os resultados apresentados na Figura 12 representam o acréscimo médio das variáveis de estudo ( $V_0$ ,  $M_0$ ,  $u_1$  e  $\theta_1$ ), relativamente à situação de referência constituída por um monopólo com secções transversais poligonais com 16 lados.

A Figura 12 mostra que a variação da geometria da secção transversal de um monopólo do tipo 2, de uma secção poligonal regular com 16 lados para uma secção poligonal regular com 12 lados ou 8 lados, tem consequências importantes aquando da definição da ação do vento sobre este tipo de estruturas.

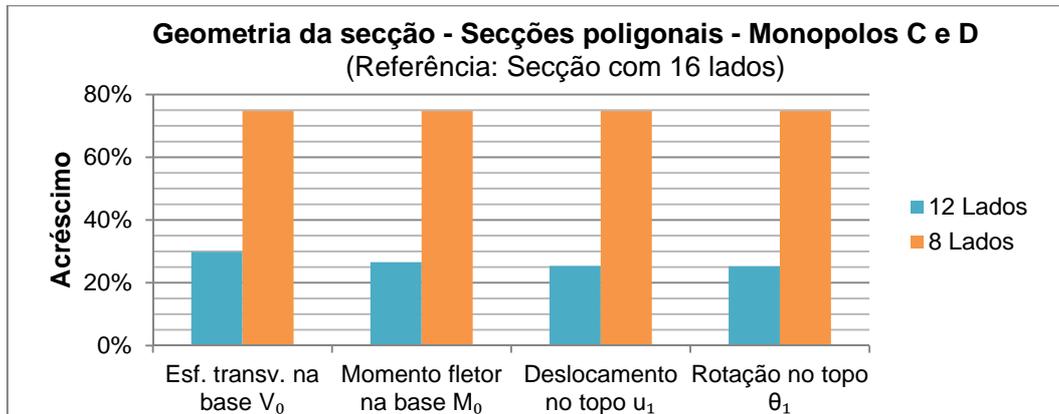


Figura 12. Variações das variáveis de estudo dos monopolos C e D, com secções transversais poligonais regulares com 8, 12 e 16 lados.

Também neste caso, estes acréscimos significativos resultam dos coeficientes de força atribuídos aos diferentes monopolos. A simples alteração da superfície do fuste ou da geometria da sua secção transversal pode influenciar de forma bastante significativa o escoamento do ar e, deste modo, agravar bastante os efeitos da ação do vento sobre estas estruturas.

A comparação dos valores médios dos coeficientes de força para os diferentes tipos de secções transversais considerados indica que nas secções mais angulosas e distantes de uma geometria circular os coeficientes de força são cada vez maiores, implicando um agravamento da ação do vento sobre a estrutura.

Quadro 4. Valores médios do coeficiente de força para cada monopolo.

Secção	Monopolo	Revestimento	Geometria	$C_f$
Circular	A e B	Rev. por pintura liso	-----	0,51
		Pintura aplicada à pistola	-----	0,60
		Aço – Superfície lisa	-----	0,67
Poligonal	C e D	-----	16 lados	0,70
		-----	12 lados	0,93
		-----	8 lados	1,30

Verifica-se assim que os monopolos compostos por troços de secção circular apresentam, qualquer que seja a sua superfície, coeficientes de força mais baixos que os monopolos compostos por troços de secção poligonal.

As secções com geometria mais próxima de uma forma circular permitem que o escoamento do ar ocorra com maior facilidade, implicando uma redução dos valores dos coeficientes de força e, conseqüentemente, uma diminuição da ação do vento sobre a estrutura.

### 3. CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta um estudo paramétrico realizado com o intuito de quantificar a influência relativa da localização e das características geométricas do fuste de monopolos auto-suportados, utilizados no suporte de equipamentos para telecomunicações, aquando da definição da ação do vento sobre estas estruturas.

Com base na análise da influência da localização do monopolo constatou-se que em terrenos amplos com maior exposição à ação do vento, junto a zonas marítimas ou situadas a grandes altitudes, a ação do vento é aumentada de forma significativa. O facto de existirem sete casos possíveis de combinações entre o tipo de zona e a categoria de terreno implica que estes parâmetros possam condicionar de forma bastante significativa a ação do vento.

Verificou-se também que, em geral, as consequências da mudança da localização de um monopolo da zona A para a zona B são bastante semelhantes às da sua passagem de uma categoria de terreno para a categoria de terreno imediatamente anterior (mais exposta à ação do vento). Por este motivo, a resultante da ação do vento é, em geral, a mesma se a localização do monopolo passar de um terreno menos exposto situado na zona B para um terreno mais exposto situado na zona A.

Para além da influência e importância que a zona e a categoria de terreno onde se encontra instalado o monopolo têm na definição da ação do vento, verificou-se que o efeito agravante da orografia do terreno é muito significativo, especialmente se o monopolo se situar no topo de um acidente orográfico, quer seja uma colina ou uma falésia, o que acontece com frequência neste tipo de estruturas, devido às suas exigências funcionais. À medida que a distância do monopolo ao topo do acidente orográfico aumenta, a influência deste sobre a ação do vento vai diminuindo até se anular por completo.

Através da comparação da influência de colinas e de falésias com iguais dimensões a barlavento, verificou-se que a ação do vento é semelhante nas vertentes a barlavento, em ambos os casos, mas é diferente nas vertentes situadas a sotavento, para cada um destes acidentes orográficos. No caso de uma falésia, o efeito agravante da orografia é relevante até uma grande distância do topo da falésia, enquanto no caso de uma colina o efeito da orografia na ação do vento diminui a partir de uma curta distância do seu topo, dependendo do comprimento da vertente virada a sotavento.

As características geométricas dos monopolos são igualmente importantes aquando da definição da ação do vento sobre estas estruturas. Através da comparação entre monopolos da mesma tipologia verificou-se que, com o aumento da sua altura total, o acréscimo da ação do vento era bastante significativo, devido principalmente ao aumento da área exposta do fuste. Este acréscimo pode ser ainda mais significativo se for tido em conta o comportamento dinâmico da estrutura, incluindo perdas de rigidez devidas à interação solo-estrutura e às ligações, assunto que se encontra ainda em estudo.

Também se verificou que o tipo de secção dos troços que compõem o monopolo tem uma influência importante na definição da ação do vento. O facto de os monopolos terem uma superfície mais rugosa, ou de a geometria da sua secção transversal se afastar de uma secção circular poderá dificultar o escoamento ar em torno do seu fuste, provocando um agravamento da ação do vento resultante do aumento dos coeficientes de força.

Conclui-se assim que a localização do monopolo, assim como as características geométricas da sua estrutura, são cruciais para a definição da ação do vento sobre estas torres para telecomunicações. O facto de este tipo de estruturas serem geralmente colocadas em terrenos amplos e sem grandes obstáculos ao escoamento do ar e, frequentemente, em locais de alturas elevadas, no topo de colinas ou falésias p.ex., realça ainda mais a importância destes parâmetros na definição da ação do vento sobre estas estruturas, pelo que a sua influência não deve ser desprezada.

## REFERÊNCIAS

- [1] Filipe, J. – *Estudo paramétrico da ação do vento em torres metálicas de telecomunicações*. Dissertação de Mestrado, Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa, 2012, 165 p.
- [2] Travanca, R. – *Torres para radiocomunicações. Patologias e dimensionamento*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010, 106 p.
- [3] CEN – EN 1993 3-1. *Eurocode 3, Design of steel structures, Part 3-1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts*, 2006, 79 p.
- [4] CEN – NP EN 1991 1-4. *Eurocódigo 1, Acções em estruturas, Parte 1-4: Acções gerais. Acções do vento*. 2010, 162 p.
- [5] Travanca et al. – "The past 20 years of telecommunication structures in Portugal" em *Engineering Structures*, Vol. 48, 2013, p. 472-485.
- [6] Antunes et al. - "Dynamic monitoring and numerical modelling of communication towers with a FBG based accelerometer" em *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 74, 2012, p. 58-62.
- [7] André, J., Pipa, M. – *Especificações e cláusulas técnicas para a realização de estudos de estabilidade de torres de antenas de telecomunicações*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 225/2011 - DE/NCE, 69 p. (CONFIDENCIAL).
- [8] André, J. – *Especificações e cláusulas técnicas para a realização de estudos de estabilidade de torres de antenas de telecomunicações. Exemplo de aplicação a uma torre de aço tubular circular auto-suportada*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 226/2011 - DE/NCE, 69 p. (CONFIDENCIAL).