

MONOPOLOS AUTO-SUPORTADOS PARA TELECOMUNICAÇÕES: A INFLUÊNCIA DOS EQUIPAMENTOS 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



Manuel Pipa

Investigador Principal
LNEC
Lisboa
mpipa@lnec.pt



António M. Baptista

Investigador Principal
LNEC
Lisboa
ambaptista@lnec.pt

SUMÁRIO

Neste trabalho são apresentados e discutidos os resultados obtidos num estudo paramétrico realizado com o intuito de quantificar a influência relativa dos equipamentos utilizados em monopolos auto-suportados para telecomunicações, aquando da definição da ação do vento sobre estas estruturas. Pretende-se dar a conhecer a importância global do conjunto dos equipamentos utilizados neste tipo de estruturas, abordando-se ainda algumas matérias particulares como, por exemplo, o efeito de interferência entre antenas e interfaces, o efeito de escudo entre escadas e fuste, e o efeito de bloco dos caminhos de cabos.

Palavras-chave: Monopolos auto-suportados para telecomunicações; Ação do vento; Estudo paramétrico; Equipamentos.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas observou-se uma enorme procura de torres de suporte de equipamentos no sector das telecomunicações, sobretudo do tipo monopolo auto-suportado, devida ao enorme crescimento verificado na cobertura das redes de comunicações móveis. Com o avanço continuado das tecnologias utilizadas, tem-se também verificado um sucessivo aumento dos diversos equipamentos instalados em estruturas existentes [1-3].

Os monopolos auto-suportados são estruturas leves, apresentando elevada esbelteza e grande flexibilidade, pelo que a ação condicionante é a ação do vento ou a ação conjunta do vento e do gelo. Devido à sua função, estas estruturas são frequentemente instaladas em zonas elevadas, com grande exposição à ação do vento, o que realça ainda mais a importância desta ação na sua análise e dimensionamento [1-5].

Através da análise dos problemas observados em torres utilizadas para telecomunicações é razoável concluir que os erros de projeto são a causa mais frequente do colapso ou da substituição precoce destas estruturas [2-5]. Além disso, a pressão do mercado, exigindo soluções mais leves e económicas, tem conduzido, em certos casos, a estruturas com limitações em termos de segurança à fadiga [2,3]. A definição dos requisitos básicos para a sua conceção estrutural é uma questão fundamental.

Para atender a esta necessidade, uma comunicação adequada entre o engenheiro e o cliente é necessária para criar uma estrutura económica, com a segurança e desempenho em serviço adequados. Infelizmente, tal como afirma Støttrup-Andersen [5], a combinação de um cliente inexperiente e de um engenheiro pouco familiarizado com os problemas específicos relacionados com a análise e dimensionamento deste tipo de estruturas é comum. Ao longo dos anos, esta combinação infeliz tem dado lugar a muitas estruturas que não são adequadas para a sua função. Além disso, a necessidade de evolução do conhecimento neste domínio é notória, tal como a carência de normas específicas que abordem alguns temas mais particulares [1-3].

Neste tipo de estruturas, para além das antenas e respetivos acessórios de suporte, existem diversos outros equipamentos que são instalados e que se encontram expostos à ação do vento, como p.ex. as plataformas de trabalho, as escadas e os cabos dispostos ao longo da altura do monopolo, entre outros equipamentos diversos.

As antenas são o elemento fundamental no sistema de comunicações, permitindo a emissão e/ou receção de ondas eletromagnéticas. As antenas atualmente utilizadas nas redes de comunicações móveis podem ser agrupadas em dois tipos distintos, com funções e geometrias diferenciadas, mais concretamente: i) antenas de painel, que funcionam atualmente numa faixa de frequências entre 800 MHz e 2100 MHz, dependendo da tecnologia utilizada, e numa abertura de 180° em plano, sendo portanto dispostas em três sectores distintos, de forma a abranger toda a amplitude; e, ii) antenas de micro-ondas (links), que atuam numa faixa de frequências entre 2 GHz e 40 GHz, permitindo a ligação entre as várias estações de rede móvel, cujas rotações admissíveis são bastante limitadas, de modo a não quebrarem a ligação.

Nas torres de telecomunicações também se encontram os cabos de ligação/alimentação das antenas e/ou outros equipamentos. Cada cabo apresenta um diâmetro da ordem dos 22 mm, sendo agrupados em grande número e, conseqüentemente, formando blocos volumosos dispostos, de um modo geral, em dois caminhos, um de cada lado das escadas (Figura 1).

O avanço das tecnologias permite atualmente a utilização de cabos em fibra ótica, com vantagens perceptíveis em relação aos cabos em cobre atualmente utilizados, como p.ex. o seu menor diâmetro, de que resulta uma menor área exposta, e o seu valor comercial mais baixo, que acautela o problema do roubo dos cabos de cobre. Ainda assim, percebe-se que a substituição destes cabos em milhares de estruturas existentes e em serviço não será uma opção viável, pelo menos no curto/médio prazo. Em qualquer dos casos, verifica-se que não existe um critério uniforme na colocação destes cabos, o que aumenta consideravelmente o número de diferentes combinações que se pode obter.

As escadas são colocadas ao longo de toda a altura do monopolo, junto à superfície do fuste, podendo existir diferentes tipos de degraus e de dispositivos para garantir a segurança do utilizador, como guarda-corpos ou calha anti-queda, entre outros.



Figura 1. Disposição das escadas e dos caminhos de cabos num monopolo auto-suportado.

As plataformas de trabalho têm como função dar ao utilizador maior liberdade e conforto no acesso às antenas e/ou outros equipamentos, contribuindo assim para a sua segurança. São colocadas tipicamente em zonas de grande densidade de antenas, como no topo da estrutura, e a diferentes alturas, sempre que tal que se justifique.

Dependendo da tecnologia utilizada, as antenas necessitam de ser colocadas, em maior ou menor grau, com afastamentos entre elas, pelo que são utilizados braços de diversidade juntamente com as plataformas de trabalho que facilitam o acesso às mesmas. O seu grau de complexidade depende da quantidade, da tecnologia e/ou do tipo de antenas que se pretende instalar. A Figura 2 mostra um exemplo de um monopolo com braços de diversidade instalados.

O vento interage com cada um destes equipamentos de forma diferente, em função de diversos fatores cuja influência é importante estudar e compreender. O facto de existirem diferentes tipos de equipamentos, cada um com uma grande variabilidade de características e uma grande multiplicidade de combinações possíveis, conduz a uma enorme diversidade de superfícies expostas à ação do vento e a um grande número de equipamentos

concentrados num espaço reduzido, em especial no topo da estrutura. Alguns parâmetros, como a quantidade, localização e disposição desses equipamentos na estrutura, assim como o modo como ocorre o escoamento do ar, são parâmetros fundamentais para a determinação da ação do vento.



Figura 2. Interface de antenas no topo de um monopolo auto-suportado.

A apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos neste estudo encontram-se divididas em cinco partes, e são apresentadas na secção 2 deste trabalho. Nas subsecções 2.2 a 2.5 são analisadas as influências individuais de cada equipamento (antenas, interfaces de antenas, caminhos de cabos e escadas), bem como de alguns fenómenos mais particulares, como por exemplo o efeito de interferência entre antenas e interfaces de topo, ou entre escadas e fuste, e o efeito de bloco dos caminhos de cabos. Na subsecção 2.6 é analisada a contribuição de cada componente individual para os resultados globais obtidos, considerando o efeito conjunto de todos os equipamentos.

Os resultados apresentados foram obtidos por comparação das forças de corte basal, e dos deslocamentos ou rotações no topo de monopolos auto-suportados, com diversos tipos e disposições de equipamentos, de modo a quantificar a sua influência na definição da ação do vento sobre a estrutura.

2. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

2.1 Considerações iniciais

Neste trabalho foram analisados quatro monopolos auto-suportados, existentes e em serviço, nomeadamente dois monopolos com 30 m de altura (monopolos A e C) e dois monopolos com 40 m de altura (monopolos B e D), tendo-se considerado, para cada uma das alturas, duas tipologias distintas em relação à geometria da secção transversal do fuste:

i) monopolos A e B, constituídos por troços tubulares cilíndricos, com secção transversal constante ao longo de cada troço, e ii) monopolos C e D, constituídos por troços com fuste de forma cónica, com secção transversal em forma de polígono com 16 arestas [1].

Para cada um destes monopolos foram obtidos os valores máximos de quatro variáveis de estudo, e calculados os seus acréscimos relativamente a uma situação de referência. As variáveis de estudo consideradas são: i) o esforço transversal na base do monopolo (V_0); ii) o momento fletor na base do monopolo (M_0); iii) o deslocamento horizontal no topo do monopolo (u_1); e iv) a rotação no topo do monopolo (θ_1).

Neste trabalho apenas se apresentam os resultados obtidos no caso de monopolos do tipo B, pois estes resultados são representativos dos obtidos nos restantes casos estudados.

A ação do vento sobre os vários elementos foi obtida de acordo com as normas aplicáveis [6,7]. Nos cálculos realizados foram utilizados modelos discretos, aplicando-se as forças devidas à ação do vento com intervalos de 1 m entre si, desde a base até ao topo da estrutura.

2.2 Influência das antenas na ação do vento

Para analisar a influência das antenas na definição da ação do vento sobre um monopolo foram definidos vários casos de estudo, considerando diferentes quantidades de antenas posicionadas ao longo da altura do monopolo, com o intuito de quantificar os efeitos da alteração destes parâmetros na definição da ação do vento.

Foram considerados dois tipos de antenas primordiais que se podem encontrar neste tipo de estruturas, nomeadamente uma antena com formato retangular (antena de painel) e uma antena com formato circular (antena de micro-ondas), representadas na Figura 3. Apesar de as antenas de painel serem colocadas segundo direções diferentes, pelos motivos já referidos, neste estudo considerou-se que o vento atua sempre na face frontal das antenas.

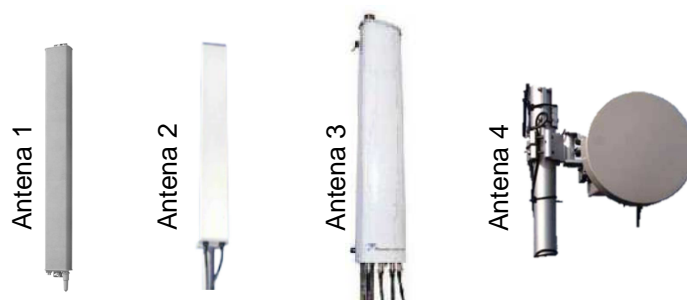


Figura 3. Tipos de antenas considerados no estudo.

Nas Figuras 4 a 7 apresentam-se os resultados dos acréscimos das variáveis de estudo (V_0 , M_0 , u_1 e θ_1) em relação à situação de referência, que corresponde ao caso de um monopolo B sem qualquer equipamento instalado. Foi considerada a colocação de 4, 8 ou 12 antenas em diferentes alturas: 20 m, 30 m e 40 m.

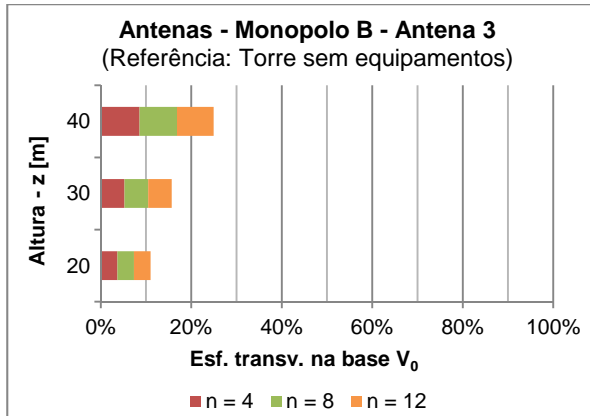


Figura 4. Variação do esforço transverso na base do monopolo B com antenas do tipo 3.

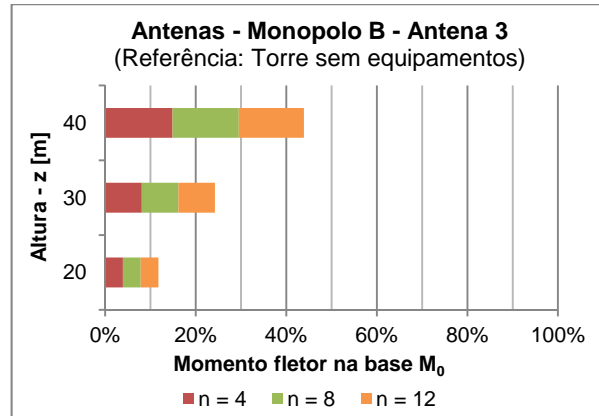


Figura 5. Variação do momento fletor na base do monopolo B com antenas do tipo 3.

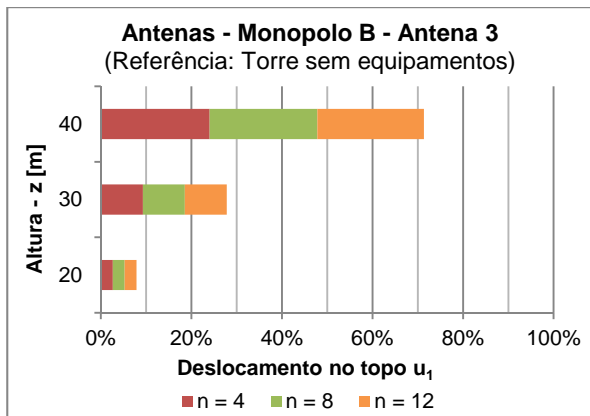


Figura 6. Variação do deslocamento no topo do monopolo B com antenas do tipo 3.

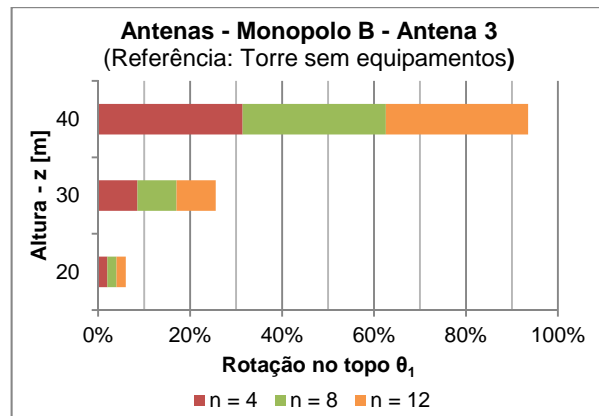


Figura 7. Variação da rotação no topo do monopolo B com antenas do tipo 3.

Através das mesmas figuras pode-se observar que tanto o aumento do número de antenas, na mesma altura, como a mudança da posição de um mesmo número de antenas para uma cota superior, acrescem de forma significativa os valores das variáveis de estudo.

No caso do aumento da quantidade de antenas posicionadas à mesma altura, estes acréscimos devem-se principalmente ao aumento da área de referência, devido à maior quantidade de antenas expostas à ação do vento. No caso da mudança de posição de um mesmo número de antenas para uma cota superior, os acréscimos das variáveis de estudo resultam do aumento da pressão dinâmica devido à maior distância das antenas ao solo e da diferente distribuição em altura.

Através da análise dos resultados apresentados poderá ainda verificar-se que, nos casos estudados, a alteração da posição das antenas para alturas superiores conduz a resultados globais mais gravosos do que o aumento da quantidade de antenas, quando colocadas à mesma altura das existentes. Por exemplo, verifica-se que a colocação de apenas 8 antenas

no topo do monopolo (a 40 m de altura) provoca um maior acréscimo do esforço transversal na base da estrutura, relativamente à situação de referência, que a colocação de 12 antenas a 30 m de altura. Este facto é ainda mais evidente se analisarmos os valores de qualquer uma das restantes variáveis, cuja variação é bastante mais elevada; conclui-se, por exemplo, que ter apenas 4 antenas no topo do monopolo é bastante mais gravoso do que ter 12 antenas instaladas a 20 m de altura.

2.3 Influência das interfaces de antenas na ação do vento

Como as formas mais complexas de interfaces para fixação das antenas são utilizadas no topo dos monopolos, esta análise recaiu apenas nestes tipos. Assim, para se analisar a influência que estas interfaces têm na definição da ação do vento sobre estas estruturas, foram analisados quatro tipos diferentes de interfaces, com diferentes formas e dimensões, geralmente utilizadas no topo de monopolos para telecomunicações (Figura 8).

É reconhecido que os estudos abordando a forma como o vento atua sobre estes tipos de equipamentos são escassos ou mesmo inexistentes [1-3], pelo que se considerou uma área máxima, correspondente à soma das áreas de todos os elementos da interface, e uma área mínima, correspondente à soma das áreas dos elementos numa das faces da interface. As áreas mínimas consideradas encontram-se representadas a sombreado na Figura 8.

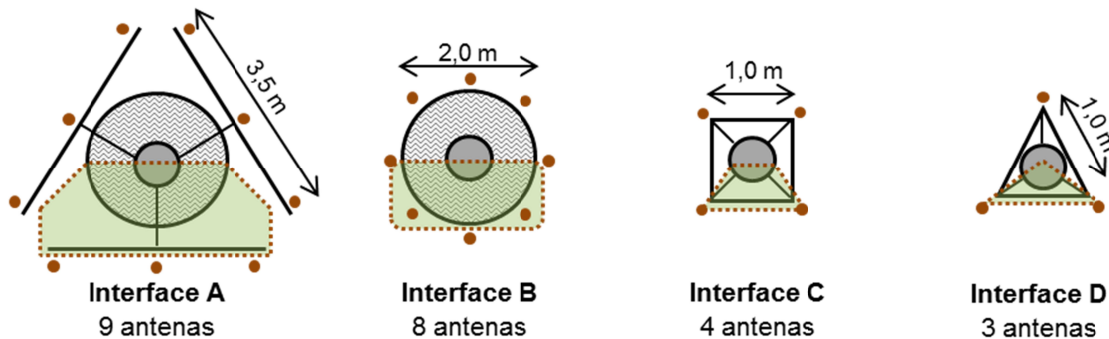


Figura 8. Identificação das interfaces com indicação da área mínima a sombreado.

Para cada caso de estudo admitiu-se a colocação de cada uma destas quatro interfaces, com diferentes quantidades de antenas instaladas. Neste trabalho apenas são apresentados os resultados obtidos no caso da interface A colocada no topo do monopolo B (com 40 m de altura), pois estes resultados são representativos dos obtidos nos restantes casos estudados.

Os resultados apresentados na Figura 9 representam o acréscimo das variáveis de estudo (V_0 , M_0 , u_1 e θ_1) nas diferentes situações indicadas na Figura 10, em relação à situação de referência, que corresponde ao caso de um monopolo B sem qualquer equipamento instalado. Apenas foi considerada a colocação de antenas dos tipos 1 e 2 (ver Figura 3), com diferentes dimensões e formatos. Os resultados obtidos, considerando a área mínima, correspondente à soma das áreas dos elementos numa das faces da interface representadas a sombreado na Figura 8, são indicados a cheio na Figura 9.

Através da Figura 9 é possível constatar que a colocação de uma interface deste tipo no topo de um monopolo tem uma influência importante nos acréscimos dos valores das variáveis de estudo, relativamente à situação de referência. Independentemente dos sucessivos aumentos da quantidade de antenas, verifica-se que basta a colocação da interface no topo do monopolo, sem qualquer antena instalada, para provocar um acréscimo considerável dos valores das variáveis de estudo.

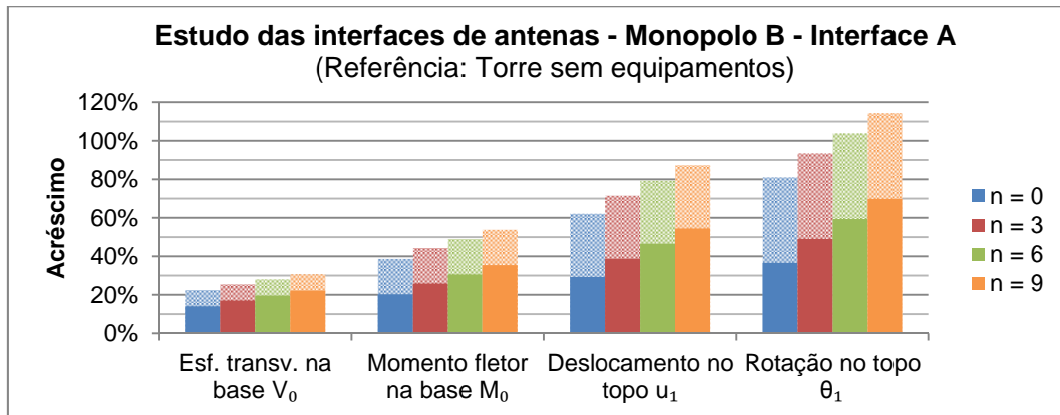


Figura 9. Variação dos valores das variáveis de estudo devida aos efeitos das diversas disposições de antenas na interface A, instalada no monopolo B.

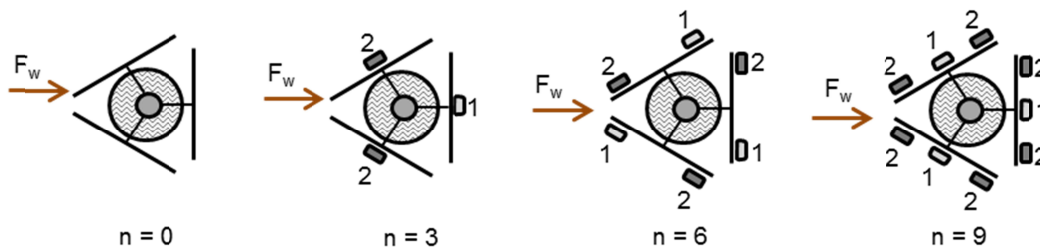


Figura 10. Situações consideradas no estudo da incidência do vento na interface A.

Nos casos da colocação de cada uma das restantes interfaces (Figura 8) no topo dos diversos monopolos analisados, observou-se que os acréscimos dos valores das variáveis de estudo são menores, devido à menor área de referência e à menor quantidade de antenas consideradas. Ainda assim, conclui-se que estes acréscimos não são desprezáveis.

Os resultados obtidos permitem também atestar que a definição da área de referência da interface é importante para a definição da ação do vento sobre a estrutura. Através das áreas definidas para a interface do tipo B (ver Figura 8) observa-se que considerar a área máxima da interface colocada no topo do monopolo, sem qualquer antena instalada, é mais grave que considerar a área mínima da mesma interface colocada no topo do monopolo com 9 antenas instaladas. As diferenças entre os resultados obtidos têm ainda mais significado no caso dos acréscimos do deslocamento e da rotação no topo da estrutura, em relação à situação de referência.

Importa sublinhar que a falta de estudos, nomeadamente através de ensaios em túnel de vento, coloca sérias dúvidas sobre a validade da soma simples da ação do vento em elementos isolados, como p.ex. interfaces e antenas, sem ter em consideração a sua interação.

É reconhecido que este efeito de interferência existe, não se dispondo porém de um método adequado e validado experimentalmente para a sua quantificação. O trabalho desenvolvido por Wood [8] permitiu demonstrar que a soma dos efeitos da ação do vento sobre cada elemento isolado é diferente do efeito global sobre o conjunto da interface e das antenas. Estes resultados foram obtidos através de ensaios em túnel de vento, utilizando modelos de interfaces e antenas em escala reduzida.

Para se quantificar a influência que este efeito tem na ação do vento sobre um monopolo foi definido um coeficiente de interferência para cada situação, calculado, de forma simplificada, através da relação entre os resultados obtidos para o conjunto interface/antenas e a soma dos resultados obtidos para cada elemento isolado.

Com base numa interface utilizada no trabalho experimental desenvolvido por Wood [8], com forma e dimensões semelhantes à interface A utilizada no presente estudo, foi possível relacionar o coeficiente de interferência (c_i) com a área frontal das antenas (A_F), assinaladas a vermelho na Figura 11, tendo em conta a direção de incidência do vento e a disposição de antenas indicada nesta figura.

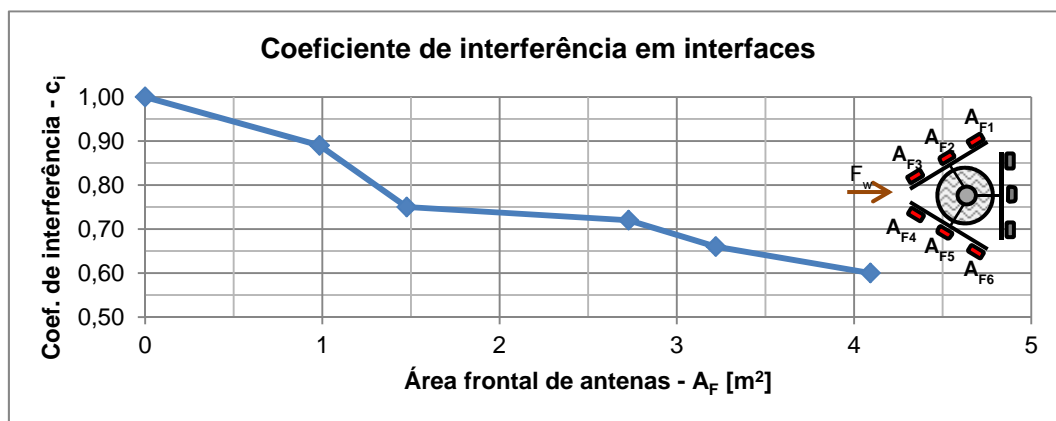


Figura 11. Coeficiente de interferência para a interface representada.

Verifica-se que, para uma área considerável de antenas colocadas na face frontal desta interface, pode haver uma redução significativa da força resultante da ação do vento. Apesar de poder depender apenas da área das antenas dispostas na face frontal da interface, comprova-se que este efeito existe e, conseqüentemente, terá uma importância significativa na definição da ação do vento sobre monopolos utilizados para telecomunicações.

Com a colocação da interface do tipo A no topo do monopolo B, considerando a mesma direção do vento e a mesma quantidade e disposição de antenas indicadas na Figura 11, foi determinado o coeficiente de interferência para a colocação de 6 e 9 antenas, dos tipos 1 e 2 (ver Figura 3). Obtiveram-se os valores de 0,90 para 6 antenas e de 0,79 para 9 antenas,

que foram aplicados à resultante da força do vento a aplicar no topo do monopolo. Os casos indicados com asterisco na Figura 12 referem-se à aplicação do coeficiente de interferência.

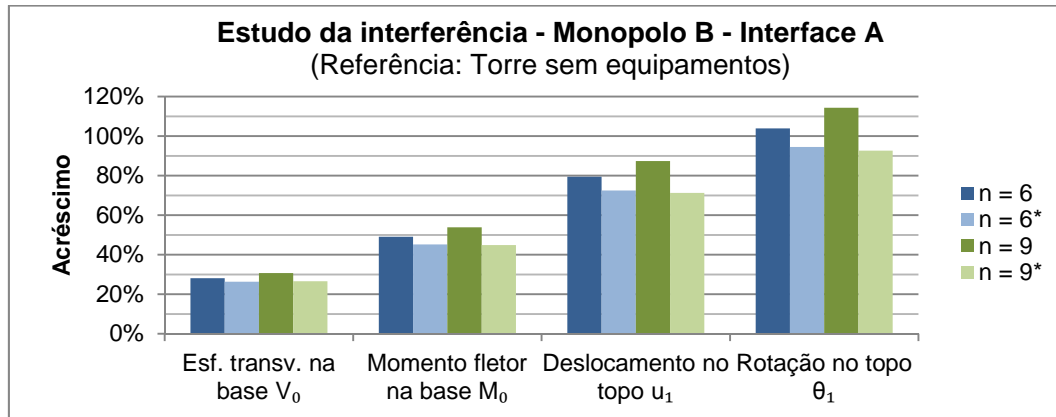


Figura 12. Variação dos valores das variáveis de estudo devida aos efeitos da interface A colocada no monopolo B, considerando o efeito de interferência.

Através da Figura 12 poderá observar-se que a afetação dos coeficientes de interferência ao conjunto interface/antenas, para os casos estudados, não tem uma influência significativa nos acréscimos das variáveis de estudo (V_0 , M_0 , u_1 e θ_1), em relação à situação de referência. Porém, é evidente que existe uma redução dos efeitos da ação do vento sobre a estrutura. Recordar-se, entretanto, que estes coeficientes foram obtidos de uma forma simplificada, cuja validade se desconhece, sendo necessários mais estudos sobre a interação entre as interfaces e as antenas, como foi já referido por diversos autores [1-4].

No entanto, é um facto que este efeito ocorre nas interfaces de antenas colocadas no topo dos monopolos, onde existe uma grande densidade de antenas e, conseqüentemente, uma grande sobreposição de elementos. Considerando que poderão existir outros tipos de equipamentos à mesma altura, o escoamento do ar pode ser afetado de uma forma ainda mais significativa, não dependendo unicamente do número de antenas.

2.4 Influência dos caminhos de cabos na ação do vento

Tal como foi referido anteriormente, os cabos são geralmente dispostos em dois ou mais caminhos, no mesmo plano das escadas (Figura 1). Para se analisar a influência deste tipo equipamento aquando da definição da ação do vento sobre um monopolo, consideraram-se vários casos de agrupamentos de cabos dispostos em dois caminhos, num total de 12, 16 ou 24 cabos, conforme indicado na Figura 13.

A alteração da forma do agrupamento de cabos irá provocar uma alteração da área exposta e do escoamento do ar e, conseqüentemente, da área de referência, na direção de incidência do vento, e do coeficiente de força aplicável. Por este motivo foi considerada, para cada agrupamento de cabos, uma disposição otimizada, indicada com um (a) nas Figuras 13 e 14, e de modo a se analisar a influência deste parâmetro na definição da ação do vento.

Apresentam-se em seguida apenas os resultados dos acréscimos das variáveis de estudo (V_0 , M_0 , u_1 e θ_1) resultantes da colocação dos cabos no monopolo B, relativamente à situação de referência, que corresponde ao caso de um monopolo B sem qualquer equipamento instalado, pois estes resultados são representativos dos resultados obtidos para os restantes monopolos.

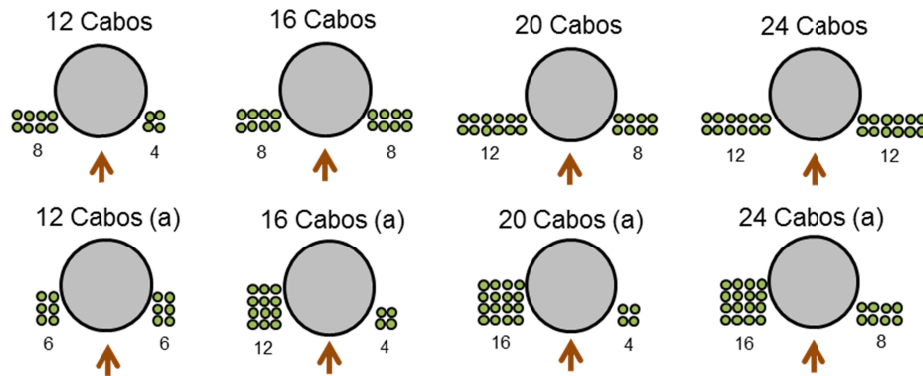


Figura 13. Representação das disposições de cabos consideradas neste trabalho.

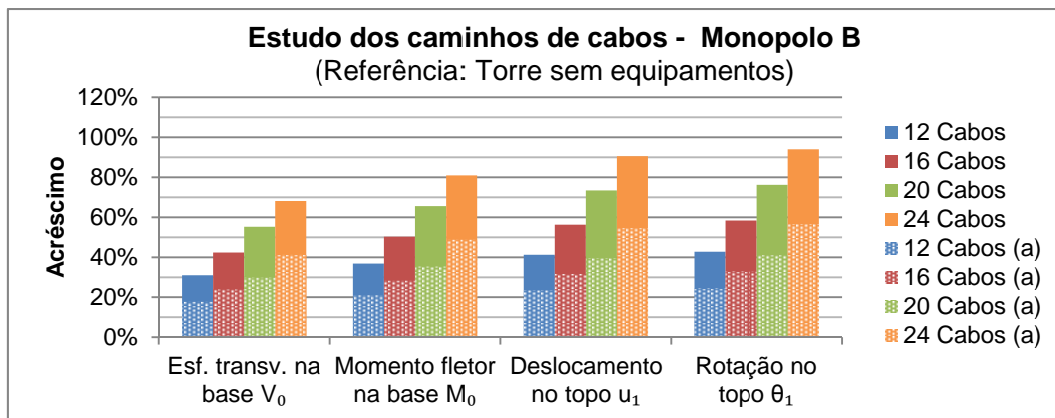


Figura 14. Variação dos valores das variáveis de estudo devida aos efeitos da ação do vento sobre os caminhos de cabos no monopolo B.

A Figura 14 mostra os acréscimos importantes das variáveis de estudo em relação à situação de referência, para os caminhos de cabos colocados no monopolo B; é possível constatar que estes acréscimos são bastante mais elevados quando a área de referência aumenta.

A análise dos resultados obtidos para as disposições de cabos otimizadas permite concluir que um menor número de cabos na face frontal de incidência do vento implica não só uma redução da área de referência mas também um decréscimo do coeficiente de força aplicável. A redução dos esforços na base do monopolo, e do deslocamento e rotação no seu topo, em relação aos casos não otimizados com o mesmo número de cabos, é muito significativa. Note-se, por exemplo, no caso da colocação de um total de 12 cabos numa configuração não otimizada, os valores dos acréscimos das variáveis de estudo são superiores aos acréscimos das mesmas variáveis no caso da colocação de 20 cabos de uma forma otimizada.

Outro aspeto importante relacionado com os caminhos de cabos é o facto do conjunto que formam com o fuste do monopolo poder não ser permeável ao escoamento do ar. Significa isto que o escoamento do ar pode sofrer alterações importantes, conforme se considere ou não este efeito de bloco. Este aspeto é ilustrado pela Figura 15.

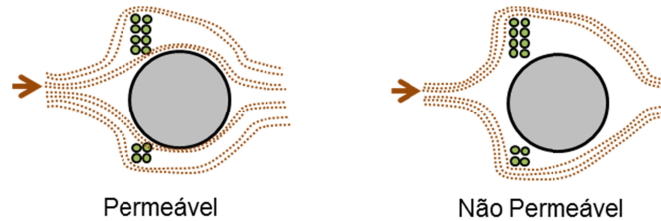


Figura 15. Representação do escoamento do ar em torno dos caminhos de cabos.

A análise realizada mostra que os coeficientes de força mudam drasticamente entre os dois casos apresentados na Figura 15. No caso de se admitir a permeabilidade entre os caminhos de cabos e o fuste, será atribuído um coeficiente de força isolado para cada um deles. Se o seu conjunto for tomado como um só bloco, será atribuído um único coeficiente de força, considerando que a largura desse bloco é igual à soma das larguras dos cabos e do fuste.

Tendo em consideração as disposições (a) de cabos otimizados, indicadas na Figura 13, verifica-se um acréscimo enorme das variáveis de estudo (V_0 , M_0 , u_1 e θ_1) no monopolo B em relação à situação de referência, que corresponde ao caso de um monopolo B sem qualquer equipamento instalado, quando se considera o conjunto do fuste e dos caminhos de cabos como um bloco único (b), ver Figura 16. Estes acréscimos resultam do agravamento do coeficiente de força, em relação à situação em que se consideram coeficientes de força separados para o fuste e para os caminhos de cabos.

O funcionamento do fuste e dos caminhos de cabos como um bloco único é um cenário que se afigura relativamente raro pois, em geral, existem folgas consideráveis entre o fuste e os cabos que permitem o livre escoamento do ar entre estes elementos. No entanto, é necessário ter em atenção que, nalguns casos específicos, este efeito poderá afetar consideravelmente os efeitos da ação do vento sobre a estrutura.

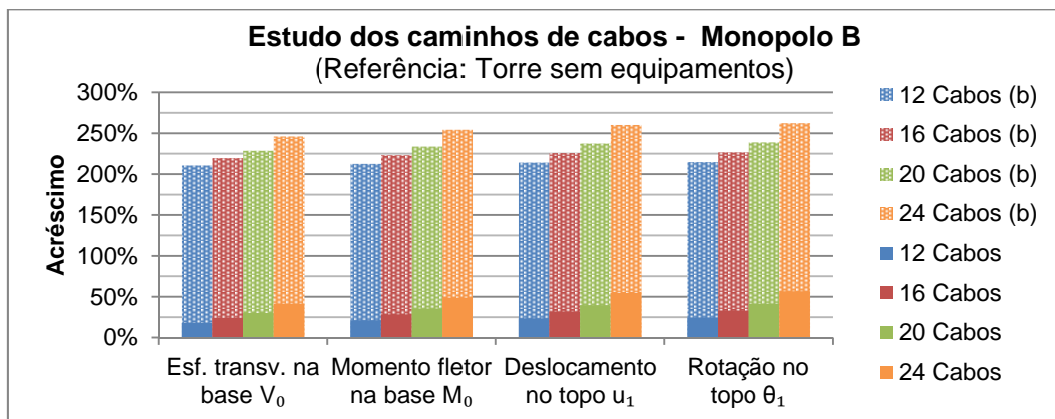


Figura 16. Variação dos valores das variáveis de estudo devida ao efeito de bloco nos caminhos de cabos colocados no monopolo B.

2.5 Influência das escadas na ação do vento

À semelhança dos caminhos de cabos, as escadas têm igualmente a particularidade de apresentar um desenvolvimento linear, sendo colocadas ao longo de toda a altura do monopolo. Como foi já referido, existem vários tipos de escadas, com diferentes tipos de degraus e de dispositivos para garantir a segurança do utilizador. O objetivo desta análise é o de quantificar o agravamento da ação do vento sobre um monopolo resultante da colocação de vários tipos de escadas nos diversos modelos de monopolos analisados.

Neste trabalho foram definidos quatro casos típicos de escadas utilizadas em monopolos, com diferentes áreas de referência (Figura 17). Nas análises realizadas foi admitido um coeficiente de força com o valor de 1,60, independentemente do tipo de escadas utilizado, e obtido por ponderação dos coeficientes de força dos vários elementos que compõem este equipamento.

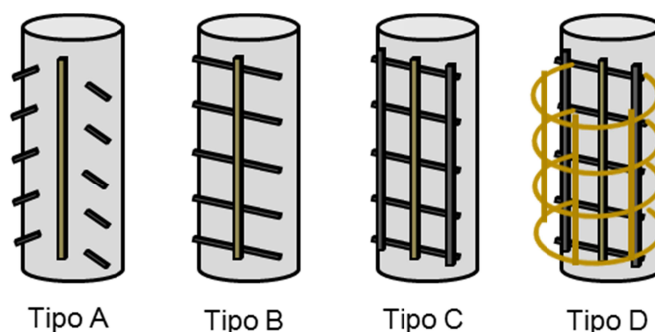


Figura 17. Representação dos quatro tipos de escadas considerados neste estudo.

Durante a realização deste trabalho, um dos aspetos discutidos foi o facto de poder existir uma sobreposição das escadas e do fuste. Dado que as escadas são colocadas sobre o fuste, existe a possibilidade de ocorrer um efeito de escudo entre estes dois elementos. Neste caso, e à semelhança do discutido na secção 2.3, a propósito da interferência entre interfaces e antenas, a soma simples das forças do vento aplicadas ao fuste e às escadas pode não representar a força resultante do vento sobre o seu conjunto. Mais uma vez se realça a necessidade da realização de estudos experimentais, com recurso a ensaios em túnel de vento, para dar respostas fundamentadas a estas questões.

Através da colocação de cada um dos quatro tipos de escadas considerados em cada um dos quatro monopolos, foram calculados os acréscimos dos valores das variáveis de estudo em relação à situação de referência, que corresponde ao caso de um monopolo B sem qualquer equipamento instalado. Apenas se apresentam os resultados obtidos para o monopolo B, visto serem representativos dos resultados obtidos para os restantes monopolos.

Através da Figura 18 verifica-se que a colocação da escada do tipo A (Figura 17), com a menor área de referência, implica um acréscimo significativo das variáveis de estudo, em relação à situação de referência. Nos outros casos, de colocação de escadas com maior

área de referência, a variação é ainda mais acentuada, atestando que qualquer alteração neste tipo de equipamento terá uma influência muito importante na definição da ação do vento sobre este tipo de estruturas.

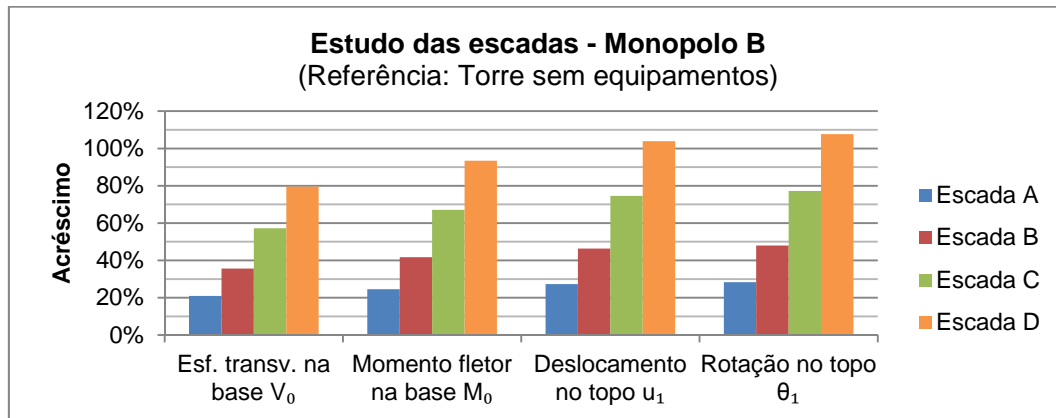


Figura 18. Variação dos valores das variáveis de estudo devida aos efeitos de cada um dos quatro tipos de escadas colocadas sobre o monopolo B.

2.6 Influência do conjunto da escada, cabos, interfaces e antenas

Uma vez apresentados e discutidos os resultados obtidos para cada elemento isolado, é importante dispor de uma visão global sobre a influência conjunta de todos estes equipamentos. Para tal, procedeu-se à comparação dos efeitos da ação do vento sobre cada um dos monopólos em estudo, tendo em consideração todos os equipamentos instalados. Através dos resultados apresentados no Quadro 1 poderá verificar-se que, com a exceção do monopolo A, os efeitos resultantes da ação do vento sobre os equipamentos, i.e. escada, cabos, interfaces e antenas, são superiores à ação do vento sobre fuste.

A simples observação do Quadro 1 permite avaliar a importância da influência destes equipamentos na análise e dimensionamento destas estruturas. Esta influência não deverá ser menosprezada, sobretudo quando se constata que o crescente progresso das tecnologias poderá implicar um aumento sucessivo dos diferentes equipamentos instalados nas estruturas existentes.

Quadro 1. Influência relativa dos diferentes equipamentos nos efeitos da ação do vento sobre os monopólos.

Monopolo	Fuste	Equipamentos				
		Antenas	Interfaces	Cabos	Escadas	TOTAL
A	55%	8%	6%	11%	21%	45%
B	40%	9%	9%	12%	30%	60%
C	46%	19%	5%	13%	17%	54%
D	47%	10%	13%	18%	13%	53%

3. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados e discutidos neste trabalho conclui-se que praticamente todos os tipos de equipamentos têm uma influência importante na ação do vento sobre monopolos auto-suportados.

No caso das antenas verificou-se que, quer o incremento da área de referência resultante do aumento da quantidade de antenas, quer o acréscimo da distância ao solo no caso de as antenas serem instaladas a cotas mais elevadas, têm influência nos efeitos da ação do vento sobre o monopolo. Verificou-se ainda que, nos casos estudados, o aumento da altura de uma determinada quantidade de antenas é mais gravoso que o aumento do número de antenas instaladas à mesma altura.

No caso das interfaces de antenas constatou-se um agravamento ainda maior dos resultados globais, comparativamente com os obtidos no caso das antenas. Os resultados apresentados para uma interface colocada no topo da estrutura, sem qualquer antena instalada, atestam a importância deste tipo de equipamento na ação do vento sobre o monopolo.

Em face do grau de incerteza na definição da área de referência de uma interface, consideraram-se duas situações extremas, representadas por uma área mínima e por uma área máxima. Verificou-se que, por vezes, considerar a área máxima da interface sem antenas é mais grave que considerar a área mínima da interface com algumas antenas instaladas.

Este grau de incerteza conduz à questão sobre o método mais adequado para avaliar a referida área de referência, considerando a soma simples da ação isolada do vento sobre a interface e sobre cada uma das antenas instaladas, ou considerando a ação global do vento sobre o conjunto da interface e das antenas. Verificou-se que a soma da ação do vento em elementos isolados é superior à ação global do vento sobre o seu conjunto, devido ao efeito de interferência entre a interface e as antenas. No entanto, sublinha-se a necessidade de mais estudos nesta matéria, designadamente com recurso a ensaios em túnel de vento, para melhor fundamentar esta conclusão.

Com base nos resultados obtidos por outros autores foi definido um coeficiente de interferência, que depende da área exposta das antenas colocadas na face frontal de incidência do vento. Apesar de se ter verificado que a aplicação deste coeficiente conduz a diferenças pouco significativas entre os resultados obtidos nos casos estudados, o mesmo poderá não acontecer se existir uma grande quantidade de antenas instaladas no topo da estrutura.

No caso dos equipamentos com desenvolvimento linear, tais como os cabos e as escadas, verificou-se que a sua influência nos efeitos da ação do vento é ainda superior à dos equipamentos discretos (antenas e interfaces). O facto de estes equipamentos apresentarem uma grande área de referência, e de se encontrarem dispostos ao longo de toda a altura do monopolo, explica os resultados obtidos e realça a sua importância na definição da ação do vento sobre este tipo de estruturas.

Verificou-se ainda que a otimização da área exposta de um agrupamento de cabos permite reduzir de forma significativa os efeitos da ação do vento sobre estes equipamentos, graças à redução da área de referência e do coeficiente de força aplicável. Por outro lado, observou-se que, se não se existirem folgas entre o fuste e os cabos, o seu conjunto pode formar um bloco opaco ao escoamento do ar, implicando um aumento drástico do coeficiente de força e, conseqüentemente, um agravamento sério da ação do vento.

Foi também analisada a hipótese de a sobreposição das escadas com o fuste poder originar um efeito de escudo, à semelhança da interferência entre as interfaces e as antenas.

Finalmente, procedeu-se à análise global dos monopolos estudados, tendo em consideração o efeito conjunto de todos os equipamentos instalados. Este estudo permitiu concluir que os equipamentos assumem um papel crucial na definição da ação do vento sobre este tipo de estruturas e que não devem, de modo algum, ser menosprezados. Devido ao papel crucial destes equipamentos e ao grau de incerteza associado a alguns dos aspetos discutidos, torna-se essencial estudar com maior profundidade algumas das matérias abordadas.

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] Travanca et al. – "The past 20 years of telecommunication structures in Portugal" em *Engineering Structures*, Vol. 48, 2013, p. 472-485.
- [4] Smith, B. – *Communication structures*, Thomas Telford, 2007, 338 p.
- [5] Støttrup-Andersen, U. – "Analysis and design of masts and towers" em *Proceedings of the International Symposium on Lightweight Structures in Civil Engineering*, Editado por Obrebski, JB, 2002, p. 137-143.
- [6] CEN – NP EN 1991-1-4. *Eurocódigo 1, Acções em estruturas, Parte 1-4: Acções do vento*. 2010, 162 p.
- [7] CEN – EN 1993-3-1. *Eurocode 3 – Design of steel structures, Part 3-1: Towers, masts and chimneys – Towers and masts*. 2006, 79 p
- [8] Wood, G. – *Wind loading of telecommunication antennas and head frames*. School of Civil Engineering, The University of Sydney, Research Report No. R881, 2007, 40 p.
- [9] 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).
- [10] 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).