

Aplicabilidade dos métodos simplificados do EC2 na verificação da segurança de pilares de betão armado de pontes



**Carlos Brito
Águas¹**



**António Lopes
Batista²**



Carla Marchão³

RESUMO

O presente trabalho, realizado no âmbito de uma dissertação de mestrado, teve como objectivo o estudo dos métodos simplificados de análise dos efeitos de segunda ordem em pilares de betão armado e a avaliação da aplicabilidade dos métodos propostos no Eurocódigo 2 (EC2) na verificação da segurança de pilares de pontes.

Começou-se com uma revisão dos métodos gerais de análise dos efeitos de segunda ordem em pilares e dos métodos de verificação da segurança de pilares de betão armado propostos no EC2. A discussão da adequabilidade destes últimos ao caso de pontes foi realizada através da comparação com os resultados obtidos através de métodos de análise física e geometricamente não lineares. Desta comparação resultou uma proposta de adaptação dos métodos do EC2, que se designou por técnica de análise global ponderada, que permitiu obter uma melhoria significativa dos resultados.

Os trabalhos foram desenvolvidos através da análise de um conjunto de casos de estudo. Na comunicação apresentam-se os resultados relativos a um viaduto corrente com quatro vãos, com pilares de secção oca, considerando as hipóteses de pilares com alturas pouco diferenciadas e com alturas substancialmente diferentes. Os resultados obtidos permitem avaliar as consequências e a justeza das diferentes abordagens possíveis.

PALAVRAS-CHAVE

Pilares de pontes; Efeitos de 2ª ordem; Eurocódigo 2 (EC2); Betão armado.

¹ ViaTúnel PGF, Rua Bernardo Lima, nº 48 – 4º Piso, 1150-077 Lisboa, Portugal. carlos.aguas@viatunnel.com

² Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. Brasil n.º 101, 1700-066 Lisboa, Portugal. a.l.batista@lnec.pt

³ Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal. c.marchao@fct.unl.pt

1 INTRODUÇÃO

As normas de projecto de estruturas de betão armado, nomeadamente o Eurocódigo 2 – EC2 [1 e 2] e o actual regulamento português REBAP [3], consideram que a verificação da segurança dos pilares para os estados limites últimos de encurvadura pode, de uma maneira geral, ser reduzida à verificação dos estados limites últimos de resistência por flexão com compressão em determinadas secções críticas das peças. Consideram ainda que essa verificação pode ser efectuada separadamente em cada uma das direcções principais de inércia, complementada através de uma verificação que inclua simultaneamente as duas direcções. Esta última verificação pode ser dispensada se as secções críticas nas duas direcções não ocorrerem na mesma zona dos pilares.

Os regulamentos estipulam que na verificação da segurança de pilares de betão armado os efeitos de 2ª ordem devem ser considerados quando é ultrapassado um valor limite de esbelteza. Para os casos correntes esses regulamentos propõem o uso de métodos simplificados, em geral conservativos. Em alternativa, permitem a utilização de análises física e geometricamente não lineares das estruturas. No entanto, apesar de actualmente já existirem programas de cálculo que permitem realizar este tipo de análises, tal não é viável, em tempo útil, na generalidade das estruturas correntes, só se justificando em obras de maior dimensão e complexidade.

O EC2 - Parte 1 [1] apresenta dois métodos simplificados de verificação da segurança de pilares, que estão essencialmente direccionados para estruturas de edifícios. Sendo o EC2 – Parte 2 [2], relativo às pontes, omissivo no que se refere à verificação da segurança dos pilares para os estados limites últimos de encurvadura, a aplicação dos métodos do EC2 – Parte 1 acarreta algumas dificuldades, relacionadas com a maior esbelteza e altura não uniforme dos pilares, apesar das secções serem dotadas, em regra, de grandes resistências. Assim, a utilização dos métodos simplificados pode não ser adequada para o caso das pontes, pois podem conduzir a valores de esforços de dimensionamento exagerados, penalizando a utilização racional dos materiais.

No âmbito de uma dissertação de mestrado [4], estudou-se a aplicabilidade dos métodos simplificados propostos no EC2 na análise dos efeitos de segunda ordem em pilares de pontes, o que levou à proposta de técnicas complementares para melhorar a sua utilização para este tipo de estruturas. Foi ainda desenvolvido um programa de cálculo automático para a determinação dos esforços resistentes de secções de betão armado em flexão composta, permitindo realizar, de forma integrada, a última etapa da verificação da segurança.

2 ADAPTAÇÃO DOS MÉTODOS SIMPLIFICADOS DO EC2 PARA PILARES DE PONTES

2.1 Métodos simplificados do EC2

O EC2 [1], para além de um método geral de análise, que considera explicitamente os efeitos física e geometricamente não lineares, propõe dois métodos simplificados, designados por métodos da rigidez nominal e da curvatura nominal. Assim, é possível efectuar uma análise simplificada da encurvadura de cada pilar isolado através da consideração de um factor de amplificação dos momentos de primeira ordem ou de uma excentricidade adicional de segunda ordem, consoante o método escolhido.

2.1.1 Método da rigidez nominal

No método da rigidez nominal os efeitos de segunda ordem são estimados recorrendo ao conceito de rigidez reduzida, com a finalidade de simular a influência da não linearidade física no comportamento

do betão armado. Pretende-se, de forma simplificada, considerar os efeitos da fendilhação e fluência do betão, bem como da plastificação das armaduras, inerentes ao comportamento das secções de betão armado.

A rigidez nominal pode ser obtida considerando a homogeneização da secção de forma simplificada, através da contribuição ponderada da rigidez do betão e do aço,

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s \quad (1)$$

sendo,

E_{cd} o valor de dimensionamento do módulo de elasticidade do betão;

I_c o momento de inércia da secção de betão;

E_s o valor de dimensionamento do módulo de elasticidade das armaduras;

I_s o momento de inércia das armaduras em relação ao centro da área de betão;

K_c um factor que entra em consideração com os efeitos da fendilhação, fluência, etc;

K_s um factor que entra em conta com a contribuição das armaduras.

O momento de dimensionamento é dado por,

$$M_{Sd} = M_{0Sd} \left[1 + \frac{\beta}{\left(\frac{N_B}{N_{Sd}} \right) - 1} \right] \quad (2)$$

sendo,

M_{0Sd} o momento de primeira ordem;

N_{Sd} o valor de dimensionamento do esforço normal;

N_B a carga nominal de encurvadura (baseada na rigidez nominal);

β um parâmetro que tem em conta a distribuição dos momentos de 1ª ordem.

2.1.2 Método da curvatura nominal

O método da curvatura nominal destina-se, essencialmente, ao dimensionamento de elementos isolados com esforço normal constante e comprimento de encurvadura (l_0) bem definido, permitindo o cálculo do momento de segunda ordem através de configuração deformada, tendo em consideração a curvatura máxima estimada.

O momento flector de dimensionamento é dado por,

$$M_{sd} = M_{0sd} + M_2 \quad (3)$$

Aplicabilidade dos métodos do EC2 na verificação da segurança de pilares de betão armado de pontes

sendo,

M_{0sd} o momento de 1ª ordem, incluindo o efeito das imperfeições geométricas;

M_2 o momento nominal de segunda ordem.

O momento nominal de segunda ordem pode ser obtido pela expressão,

$$M_2 = N_{sd} \cdot e_2 \quad (4)$$

sendo,

N_{sd} o valor do esforço normal de dimensionamento;

e_2 a excentricidade de segunda ordem, que pode ser obtida por,

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c} \quad (5)$$

sendo,

$\frac{1}{r}$ a curvatura;

l_0 o comprimento efectivo de encurvadura;

c um factor que depende da configuração deformada; considera-se $c = 10 (\approx \pi^2)$ quando a secção do pilar é constante; no caso do momento de primeira ordem ser constante, então o valor de c deve ser reduzido até um mínimo de 8.

Deve referir-se que o REBAP considera apenas um método de verificação da segurança de pilares, baseado na curvatura nominal, idêntico ao proposto no EC2.

2.2 Adaptação dos métodos do EC2 para pilares de pontes

2.2.1 Características estruturais das pontes correntes

Considere-se a estrutura de uma ponte com n pilares, com igual secção transversal mas com alturas diferentes, com ligação rotulada no topo e tabuleiro (rígido no seu plano) simplesmente apoiado nos encontros, a que correspondem $n+1$ vãos (Fig.1).

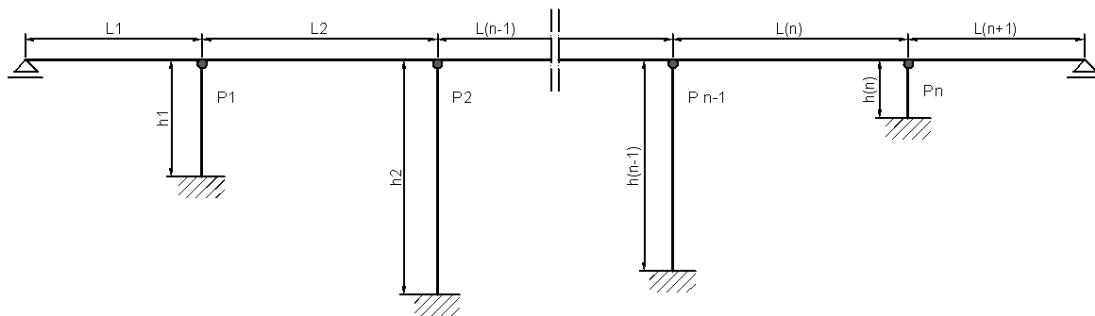


Figura 1 - Modelo estrutural de uma ponte com tabuleiro de nós móveis

Para cada pilar considerado isolado é possível calcular os efeitos de segunda ordem pelos métodos simplificados do EC2, obtendo-se excentricidades diferentes para cada um deles. No entanto, isso não se afigura fisicamente razoável, uma vez que os topos dos pilares terão necessariamente deslocamentos idênticos, devido à ligação conferida pelo tabuleiro. Assim, haverá que compatibilizar os deslocamentos correspondentes às excentricidades e_{2i} dos pilares considerados isolados (Fig. 2), propondo-se para tal as duas técnicas adiante descritas.

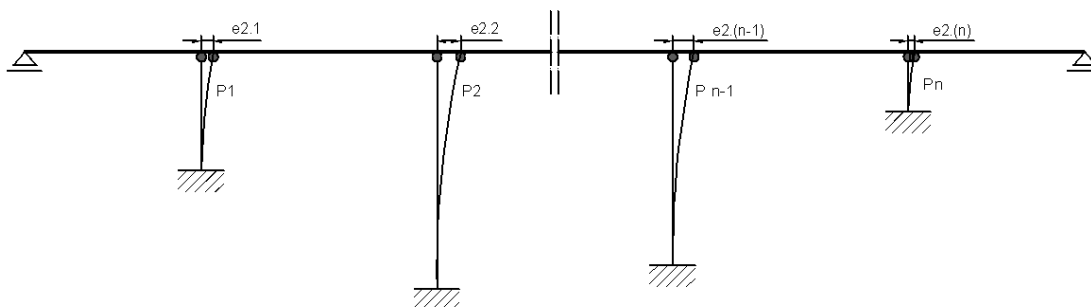


Figura 2 - Excentricidades de segunda ordem dos pilares considerados como isolados

2.2.2 Técnica de análise global simples

Os efeitos globais de 2ª ordem podem ser ponderados considerando uma média simples das excentricidades de todos os pilares, e_{2m} ,

$$e_{2m} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} e_{2i}}{n} \quad (6)$$

sendo,

- e_{2i} a excentricidade de segunda ordem relativa a cada pilar;
- n o número de pilares.

Este método, semelhante ao proposto na BS8110 [5], tem como vantagem a sua fácil aplicação, permitindo a obtenção de resultados consideravelmente melhores que os conseguidos através da consideração das excentricidades de cada pilar isolado.

2.2.3 Técnica de análise global ponderada

Como referido anteriormente, em estruturas de nós móveis, as excentricidades de 2ª ordem a considerar no topo dos pilares devem ser idênticas. Considerando a analogia de que essa excentricidade média ponderada e_{2mk} seria provocada por uma força horizontal fictícia F_v , tem-se, em regime elástico linear,

Aplicabilidade dos métodos do EC2 na verificação da segurança de pilares de betão armado de pontes

$$F_t = K_t \cdot e_{2mk} = e_{2mk} \cdot \sum_{i=1}^n K_i \quad (7)$$

sendo K_t a rigidez total horizontal e K_i a rigidez horizontal do pilar i .

Fazendo o mesmo tipo de analogia para cada um dos pilares considerados isoladamente, obtêm-se,

$$F_i = K_i \cdot e_i \quad (8)$$

$$F_t = \sum_i F_i = \sum_i K_i \cdot e_i \quad (9)$$

Assim, a excentricidade ponderada de 2ª ordem e_{2mk} a considerar em todos os pilares pode ser estimada por,

$$e_{2mk} = \frac{\sum_{i=1}^n e_{2i} \cdot k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (10)$$

sendo,

e_{2i} a excentricidade de segunda ordem do pilar i ;

K_i a rigidez horizontal do pilar i ;

n o número de pilares.

A rigidez horizontal elástica dos pilares pode ser obtida pelas expressões,

$$K_i = \frac{12 \cdot E_i \cdot I_i}{h_i^3} \quad \text{para pilares bi-encastados} \quad (11)$$

$$K_i = \frac{3 \cdot E_i \cdot I_i}{h_i^3} \quad \text{para pilares encastados na base e rotulados no topo} \quad (12)$$

sendo,

E_i o módulo de elasticidade do pilar i ;

I_i o momento de inércia do pilar i ;

h_i a altura do pilar i .

Como se verá adiante, a utilização desta técnica permite a obtenção de melhores resultados, visto que tem em conta o comportamento global da estrutura.

3 APLICAÇÃO A CASOS DE ESTUDO

3.1 Caso de estudo 1

3.1.1 Descrição da estrutura

No caso de estudo 1 considerou-se um viaduto rodoviário constituído por dois tabuleiros geminados em laje vigada, com duas vigas principais por tabuleiro, de altura constante. A superestrutura tem um comprimento total de 145,00 m, subdividido em quatro tramos com comprimentos de 36,00 m, 46,00 m, 36,00 m e 27,00 m, conforme se representa da Fig. 3.

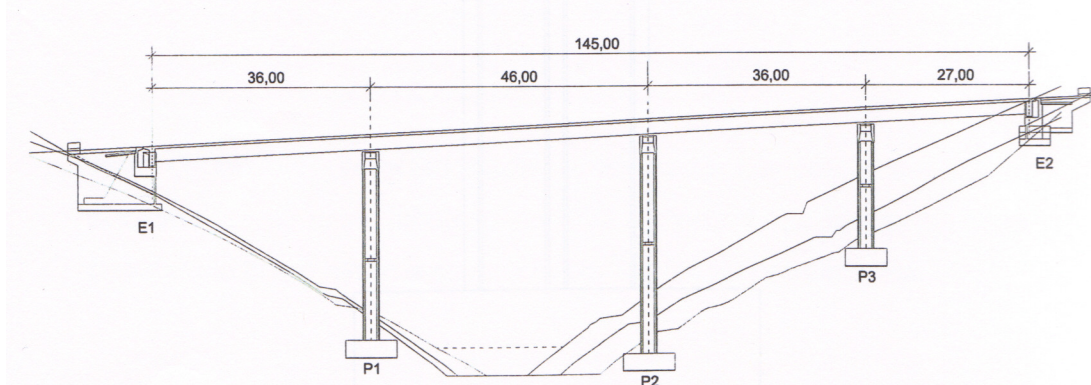


Figura 3 – Corte longitudinal do viaduto considerado no caso de estudo 1.

Em cada eixo de apoio existe um pilar por tabuleiro. Os pilares são dotados de capitéis no seu topo para permitir o apoio das duas vigas principais do tabuleiro (Fig.4). Esse apoio é materializado por aparelhos de apoio fixos.

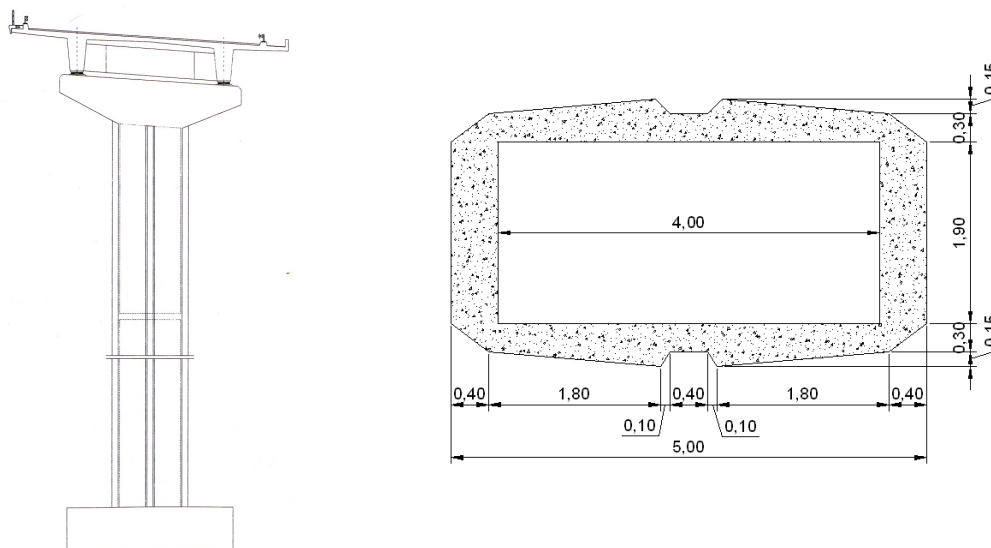


Figura 4 - Alçado do pilar, corte transversal do tabuleiro e geometria da secção transversal dos pilares.

Os pilares P1, P2 e P3 têm secção transversal constante, cuja forma geométrica se inscreve num retângulo de 2,80 m x 5,00 m (Fig. 4), tendo alturas teóricas de 32,00 m, 36,70 m e 21,30 m, respectivamente. A secção dos pilares tem uma área de 5,23 m² e um momento de inércia de 4,87 m⁴.

As armaduras da secção transversal dos pilares estão representadas na Fig. 5, tendo sido escolhidas para garantir a verificação da segurança, considerando os métodos simplificados, para o caso de estudo 2, adiante apresentado. As fundações são directas, realizadas por sapatas que podem ser consideradas rígidas.

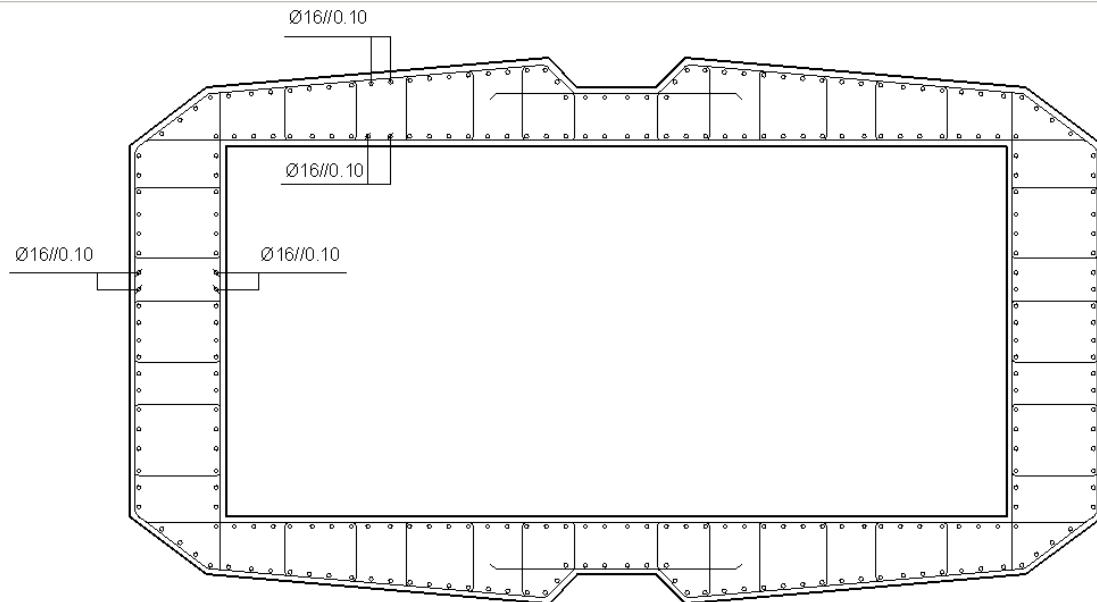


Figura 5 – Armaduras da secção transversal dos pilares.

3.1.2 Materiais

Considerou-se para os pilares betão da classe C35/45 e aço da classe A500 NR, cujas características mecânicas foram consideradas de acordo com o EC2.

3.1.3 Acções

Para a verificação da segurança dos pilares considerou-se a acção do peso próprio dos materiais estruturais (tabuleiro e pilares), pré-esforço do tabuleiro, restante carga permanente do tabuleiro e sobrecargas rodoviárias regulamentares, definida de acordo com o RSA [6]. Consideraram-se também os encurtamentos do tabuleiro devidos à retracção e à fluência do betão. Não foram considerados os efeitos das variações de temperatura.

O peso próprio dos elementos estruturais foi calculado considerando para peso específico do betão armado pré-esforçado o valor $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$. A restante carga permanente de cada tabuleiro foi estimada em 50 kN/m.

Quanto às acções variáveis considerou-se a sobrecarga uniformemente distribuída, na faixa de rodagem e bermas, de $4,0 \text{ kN/m}^2$, referente a pontes rodoviárias da classe I. Por simplificação não foi considerada a acção da sobrecarga linear na largura da faixa de rodagem. A frenagem foi considerada como uma força horizontal actuando ao nível do pavimento, com o valor de 30 kN/m, uniformemente distribuída na faixa de rodagem e bermas.

3.1.4 Comparação de resultados

Os efeitos de segunda ordem foram calculados pelos métodos simplificados do EC2, considerando os pilares isoladamente e as ponderações resultantes do funcionamento global da estrutura. Foi também realizada uma análise física e geometricamente não linear (AFGNL) da estrutura, utilizando um programa de cálculo automático de desempenho comprovado [7].

Quadro 1– Caso de estudo 1. Resumo dos resultados

<i>Pilar</i>	<i>Método geral</i>	<i>Estimativa da rigidez nominal</i>			<i>Estimativa da curvatura</i>		
	<i>Análise física e geométrica-mente não linear</i>	<i>Pilares isolados</i>	<i>Análise global simples</i>	<i>Análise global ponderada</i>	<i>Pilares isolados</i>	<i>Análise global simples</i>	<i>Análise global ponderada</i>
	M_{Sd} (kN.m)	M_{Sd} (kN.m)	M_{Sd} (kN.m)	M_{Sd} (kN.m)	M_{Sd} (kN.m)	M_{Sd} (kN.m)	M_{Sd} (kN.m)
P1	10122	22265	24201	20198	43572	40626	35131
P2	5281	23486	14362	10353	38090	30816	25312
P3	10534	16205	23382	19378	29236	39815	34318

Analisando os resultados que constam do Quadro 1 pode verificar-se que os momentos flectores de dimensionamento obtidos através da AFGNL são muito menores que os restantes. O método simplificado que apresenta resultados mais próximos da AFGNL é o da rigidez nominal proposto no EC2, complementado com a técnica de análise global ponderada da estrutura.

Comparando os resultados obtidos através dos dois métodos propostos no EC2, considerando os pilares como isolados e as técnicas de análise global simples e ponderada propostas, pode verificar-se que os resultados destes últimos tendem para uma proporcionalidade relativamente aos obtidos com o método geral de AFGNL, penalizando os pilares mais rígidos e aliviando os pilares mais esbeltos. Esta tendência já se nota na análise global simples, mas observa-se uma maior aproximação ao método geral no caso da análise global ponderada, visto que os esforços nos pilares se reduzem significativamente, sendo, contudo, cerca de 90% a 100% superiores aos obtidos nas AFGNL.

3.1.5 Verificação da capacidade resistente em flexão composta

Na Fig. 6 apresentam-se os diagramas de interacção $M_{rd} - N_{rd}$ da secção da base dos pilares e a verificação da segurança das secções. Deve referir-se que os referidos diagramas de interacção foram obtidos através de um programa de cálculo automático desenvolvido no âmbito do presente trabalho.

Aplicabilidade dos métodos do EC2 na verificação da segurança de pilares de betão armado de pontes

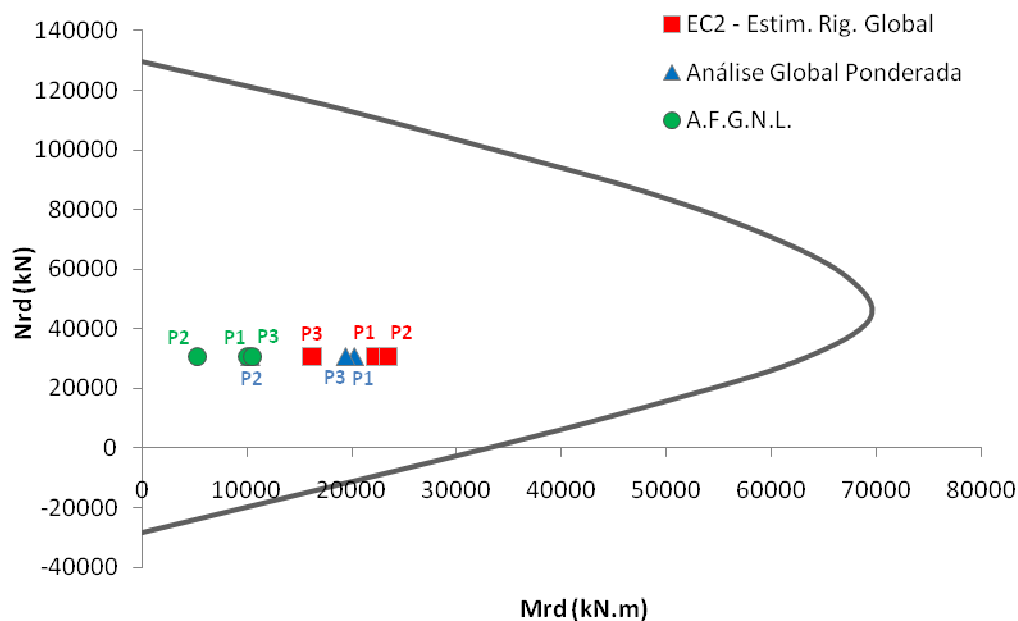


Figura 6 – Verificação da capacidade resistente dos pilares do viaduto considerado no caso de estudo 1.

3.2 Caso de estudo 2

3.2.1 Descrição da estrutura

O segundo caso de estudo é em tudo idêntico ao anterior, diferenciando no facto de ter sido aumentada a altura teórica do pilar central para 50,00 m, mantendo os pilares P1 e P3 as alturas de 32,00 m e 21,30 m, respectivamente (Fig. 7).

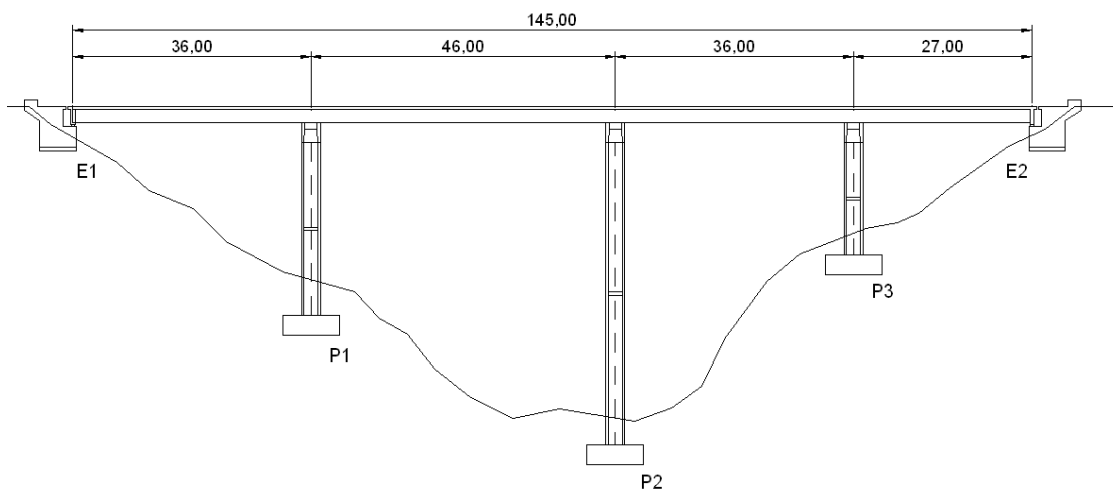


Figura 7 – Corte longitudinal do viaduto considerado no caso de estudo 2.

3.2.2 Comparação de resultados

Os efeitos de segunda ordem voltaram a ser calculados pelos métodos simplificados do EC2, considerando os pilares isoladamente e as ponderações resultantes do funcionamento global da estrutura, e através de uma análise automática física e geometricamente não linear. Os resultados obtidos, em termos de momentos flectores de dimensionamento, são apresentados no Quadro 2. Deve referir-se que neste caso não é aplicável o método da rigidez nominal ao pilar mais alto quando considerado isoladamente, dado que o esforço normal actuante é superior à carga máxima de encurvadura calculada pela fórmula de Euler para a rigidez reduzida.

Quadro 2 – Caso de estudo 2. Resumo dos resultados

<i>Pilar</i>	<i>Método geral</i>		<i>Estimativa da curvatura</i>	
	<i>Análise física e geometricamente não linear</i>	<i>Análise dos pilares isolados</i>	<i>Análise global simples</i>	<i>Análise global ponderada</i>
	<i>M_{Sd} (kN.m)</i>	<i>M_{Sd} (kN.m)</i>	<i>M_{Sd} (kN.m)</i>	<i>M_{Sd} (kN.m)</i>
P1	7249	34115	40878	25814
P2	7203	66116	38515	23451
P3	12594	25638	46475	31411

Analisando os valores que constam do Quadro 2 pode verificar-se que o método que apresenta resultados mais próximos dos obtidos na AFGNL é o da estimativa da curvatura complementado pela técnica de análise global ponderada da estrutura. No entanto, os momentos flectores de dimensionamento são 2,5 a 3,5 vezes superiores aos obtidos na AFGNL.

3.2.1 Verificação da capacidade resistente em flexão composta

Na Fig. 8 apresentam-se os diagramas de interacção $M_{rd} - N_{rd}$ da secção da base dos pilares e a verificação da segurança das secções.

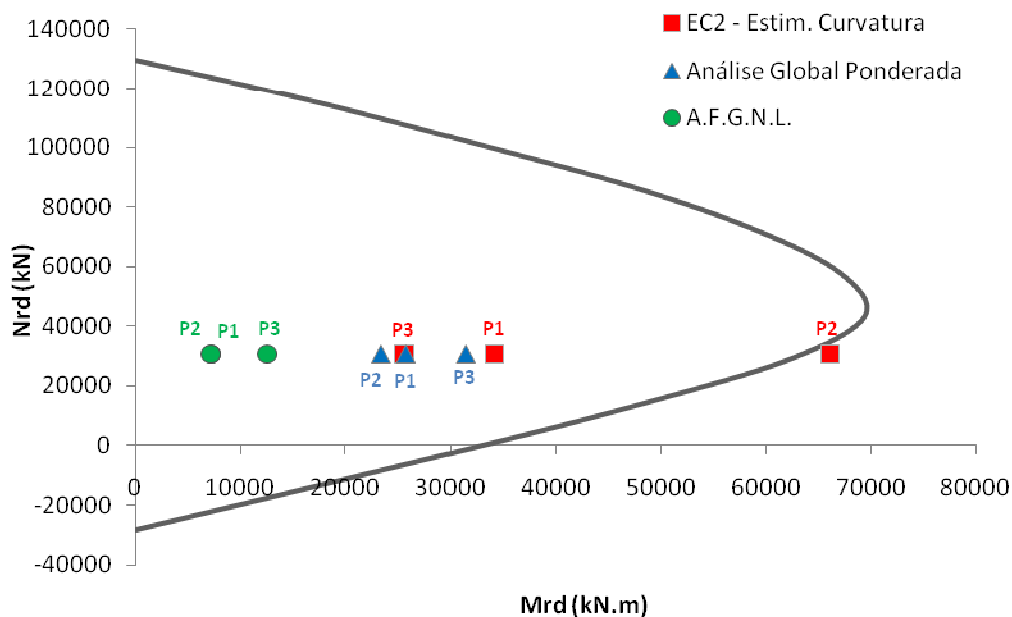


Figura 8 – Verificação da capacidade resistente dos pilares do viaduto considerado no caso de estudo 2.

4 CONCLUSÕES

Os dois métodos simplificados propostos no EC2 para o cálculo dos efeitos de segunda ordem em elementos comprimidos dependem exclusivamente das características intrínsecas do elemento em análise, nomeadamente topológicas, geométricas, propriedades dos materiais e esforços. O resultado da aplicação destes métodos traduz-se na consideração de um momento adicional de segunda ordem, resultante de uma excentricidade adicional.

Quando os pilares das estruturas porticadas de nós móveis apresentam alturas distintas, como é o caso geral das pontes, o resultado da aplicação destes métodos traduz-se na consideração de excentricidades adicionais distintas de pilar para pilar, o que, em regra, não é fisicamente possível, visto que os pilares se encontram contraventados entre si, ao nível dos nós de ligação ao tabuleiro. Consequentemente os pilares mais altos são penalizados em termos de esforços de dimensionamento, acontecendo o inverso com os pilares mais curtos. Este facto contraria a realidade física, pois a distribuição dos esforços nos pilares de pórticos é proporcional à rigidez destes elementos, sendo mais rígidos os mais curtos. De facto, relativamente a uma análise de pilares isolados, os efeitos globais de segunda ordem deverão penalizar os pilares mais curtos pois têm uma menor flexibilidade para acompanhar os deslocamentos globais da estrutura. Assim, as metodologias simplificadas propostas no EC2 para a verificação de segurança de pilares de betão armado não são, em geral, adequadas para o caso das pontes. Nestas condições, propõe-se uma técnica complementar de análise que considera a média ponderada das excentricidades de segunda ordem obtidas pelos referidos métodos simplificados, tendo em conta a rigidez de cada pilar. A técnica consiste no cálculo de um valor ponderado da excentricidade global a considerar em todos os pilares a partir da rigidez e da excentricidade de cada um dos pilares considerado isoladamente. Esta técnica tem semelhanças com a proposta na BS 8110, onde é estabelecida uma média simples das excentricidades de segunda ordem dos diferentes pilares considerados isoladamente.

Como se pode constatar nos exemplos de aplicação apresentados, nos quais foram comparados os resultados de análises física e geometricamente não lineares (AFGNL) com os obtidos através da

aplicação dos métodos simplificados, pode concluir-se, genericamente, que os esforços calculados com os métodos simplificados são muito superiores aos obtidos nas AFGNL, penalizando o dimensionamento. O método da rigidez nominal é o que apresenta resultados mais próximos das AFGNL, quando comparado com o método da curvatura nominal. Este último método, apesar de ser de utilização mais simples e incondicionada, penaliza em demasia os pilares mais esbeltos. No entanto, deve referir-se que a utilização do método da rigidez nominal depende da verificação prévia da carga máxima de encurvadura, calculada pela fórmula de Euler considerando uma rigidez reduzida para inclusão dos efeitos da fendilhação e da fluência do betão, o que limita o seu campo de aplicação a pilares esbeltos, frequentemente presentes em pontes e viadutos. Assim, sempre que possível devem utilizar-se as AFGNL na verificação da segurança de pilares de betão armado de pontes.

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que se consegue uma aproximação, relativamente aos resultados conseguidos com métodos de AFGNL, quando se utilizam critérios de ponderação das excentricidades calculadas pelos métodos do EC2 para os pilares isolados. Com a técnica de ponderação global proposta neste trabalho a melhoria é mais significativa do que usando uma média simples das excentricidades dos diferentes pilares isolados, particularmente no caso de estruturas com pilares com grandes diferenças de altura. Assim, afigura-se interessante a utilização da técnica proposta, mas carece da realização de testes em muito mais casos práticos para que se possa ganhar a confiança necessária na sua utilização corrente.

O desenvolvimento de um programa de cálculo automático, para a determinação dos esforços resistentes de secções de betão armado em flexão composta, permitiu realizar, de forma integrada, a última etapa da verificação da segurança.

REFERÊNCIAS

- [1] EUROCODE 2: Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings. EN 1992-1, December 2004.
- [2] EUROCODE 2: Design of concrete structures. Part 2: Concrete bridges – Design and detailing rules. EN 1992-2, October 2005.
- [3] REBAP - Regulamento de estruturas de betão armado e pré-esforçado. Decreto-Lei nº 349-C/83, de 30 de Julho.
- [4] ÁGUAS, C.B. – *Aplicabilidade dos métodos do Eurocódigo 2 na verificação da segurança de pilares de betão armado de pontes*. Dissertação de mestrado (Bolonha), Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, 2009.
- [5] BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BS 8110 Structural use of concrete. Part 1: Code of practice for design and construction, 1985.
- [6] RSA - Regulamento de segurança e acções para estruturas de edifícios e pontes. Decreto-Lei nº 235/83, de 31 de Maio.
- [7] MARCHÃO, C. - *Verificação da segurança de pilares de betão armado em pontes*. Dissertação de mestrado (pré-Bolonha), Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2006.