

## EFEITO DO CONFINAMENTO EM SECÇÕES PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO

Paulo A. G. Piloto <sup>a</sup>, Ana B. Ramos Gavilán <sup>b</sup>, Luís M. R. Mesquita <sup>c</sup> e Dominique S. Lima <sup>d</sup>

<sup>a,c,d</sup> *Instituto Politécnico de Bragança*

<sup>b</sup> *Universidade de Salamanca*

**Resumo.** As secções parcialmente embebidas com betão são uma solução de construção mista que utiliza um perfil metálico parcialmente revestido com betão reforçado. Esta característica construtiva aumenta a resistência do perfil metálico à temperatura ambiente e em particular, quando submetido a condições de incêndio. Neste artigo é efectuado um estudo paramétrico sobre a influência do confinamento do betão na resistência última de elementos parcialmente embebidos, quando submetidos à flexão. É apresentado um estudo numérico não linear, geométrico e material, em relação ao valor do grau de confinamento e em relação ao factor efectivo de confinamento.

### 1 Introdução

As secções parcialmente embebidas com betão podem apresentar uma solução mista construtiva em alternativa às soluções metálicas e de betão armado. A combinação das características dos dois materiais pode proporcionar uma solução com ductilidade relativa interessante. A utilização desta solução mista em alternativa a uma solução totalmente embebida tem-se tornado mais popular nos últimos anos, sendo que esta solução foi inicialmente utilizada para aumentar a resistência ao fogo de estruturas.

Neste artigo é apresentado um estudo sobre o comportamento das propriedades do betão, quando sujeito a diferentes graus de confinamento (1.75, 2.0). É ainda avaliado o factor efectivo de confinamento, ou seja a percentagem da área total de betão da secção recta com comportamento efectivo de confinamento (50% e 75%). Este fenómeno verifica-se nas zonas mais próximas da alma e do banzos, podendo ser representado pela modificação da relação uniaxial da tensão – deformação, através de um aumento da tensão resistente de compressão e do valor da deformação última.

Este efeito foi estudado para avaliar a resistência última de uma secção parcialmente embebida, quando submetida a um deslocamento incremental a meio vão, ver figura 1.

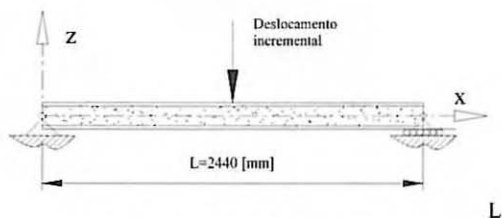
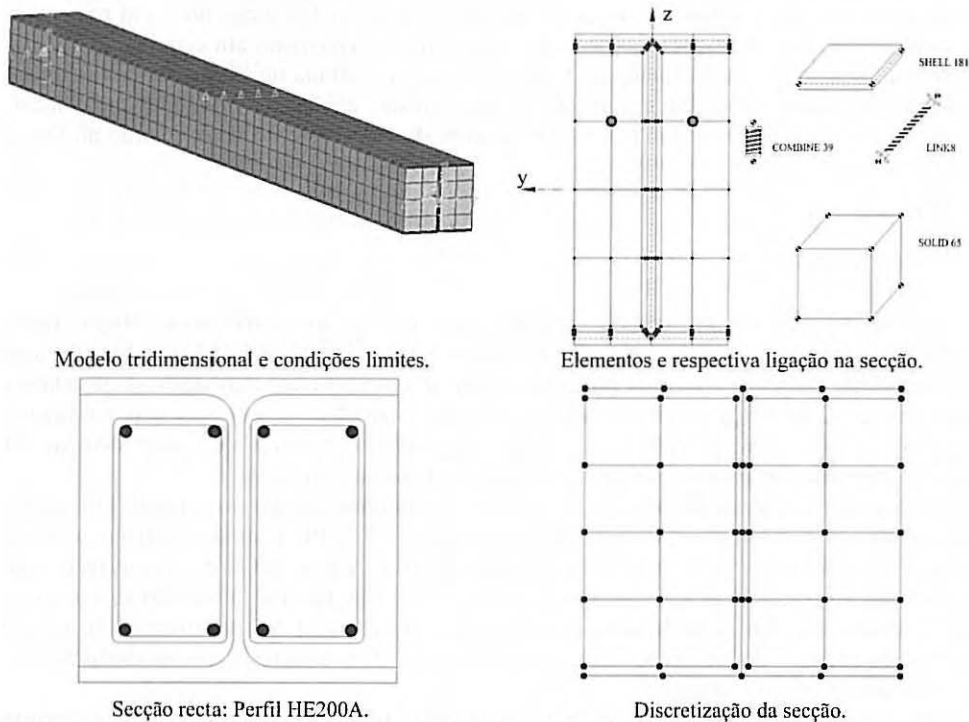


Fig. 1: Modelo e condições limites.

## 2 Modelo Numérico

O modelo de elementos finitos utiliza uma malha estruturada Ansys, definida por elementos de casca para representar o perfil em aço (Shell 181) e elementos sólidos para representar o betão (Solid 65). O reforço do betão é modelado com elementos lineares em aço (Link 8), com diâmetro de 8 [mm] que partilham nós comuns com o betão. São ainda utilizados elementos (Combin 39) para representar o contacto entre os elementos do perfil e os elementos sólidos do betão, ver figura 2.



Modelo tridimensional e condições limites.

Elementos e respectiva ligação na secção.

Secção recta: Perfil HE200A.

Discretização da secção.

Fig. 2: Modelo de secção mista.

No modelo foi introduzida uma imperfeição inicial sinusoidal, com amplitude máxima a meio vão correspondente a  $L/1000$ .

Os materiais foram definidos com comportamento não linear isotrópico e resultam de ensaios experimentais [1], conforme representação da figura 3. O comportamento da adesão entre o betão e o aço foi determinado por via experimental, sendo reaperada pela relação definida na figura 3, [2].

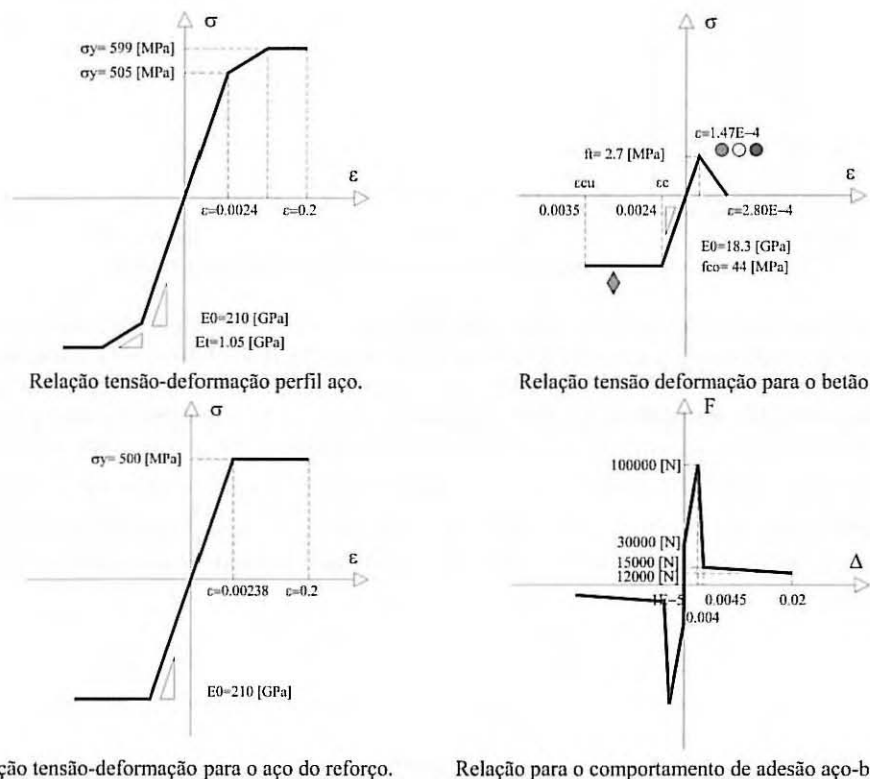


Fig. 3: Comportamento dos materiais.

O deslocamento foi prescrito a meio vão, de acordo com uma solução incremental de deslocamento médio igual a 1.5 [mm], com um incremento mínimo admissível de 0.015 [mm]. O estado limite último é atingido quando não for possível estabelecer equilíbrio. Verifica-se o desenvolvimento de uma rótula plástica a meio vão, acompanhada pela completa rotura do betão armado.

### 3 Confinamento do betão

Neste tipo de secções mistas, as zonas de confinamento mais efectivas são aquelas que se localizam perto da alma do perfil e dos banzos, ver figura 4. A superfície parabólica que define a fronteira entre a zona efectivamente confinada e a zona não confinada, depende da localização e da quantidade das armaduras. A profundidade desta parábola pode variar entre 25% e 50 % do valor da profundidade do betão, [1]. O aumento da tensão resistente à compressão do betão, para este tipo de secções, é tipicamente de duas vezes o valor nominal, dentro da zona efectivamente confinada.

Neste artigo são considerados dois modelos de confinamento. Os modelos 1 e 2 apresentam uma área de confinamento correspondente a 50% e 75 %, respectivamente.

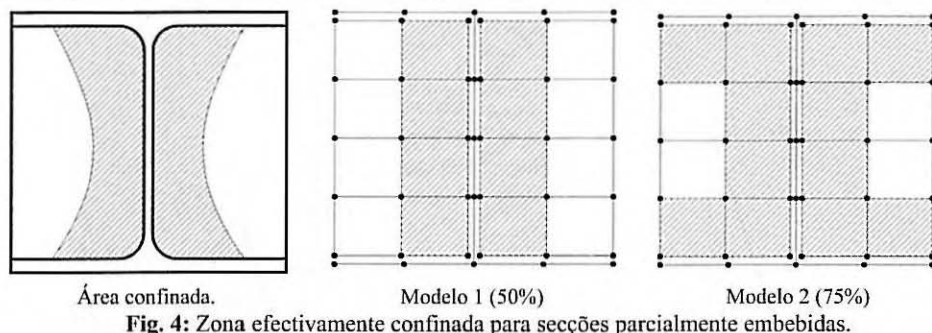


Fig. 4: Zona efectivamente confinada para secções parcialmente embebidas.

O comportamento mecânico do betão sofre alterações, devido ao efeito de confinamento triaxial. Este efeito implica uma alteração na relação uniaxial tensão-deformação, aumentando o valor da tensão resistente à compressão e da respectiva ductilidade. Diferentes modelos empíricos têm sido apresentados [1,3,4], sugerindo valores para o quociente entre a tensão resistente à compressão para a zona efectivamente confinada,  $f_{cc}$ , e o valor da tensão resistente para a zona não confinada,  $f_{co}$ . De igual forma são apresentados valores para o valor crítico da deformação do betão para ambas as zonas,  $\varepsilon_{cc}$  e  $\varepsilon_{co}$ , respectivamente, ver figura 5. As outras características do comportamento do material podem ser consideradas não afectadas.

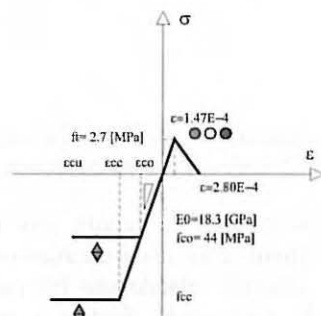
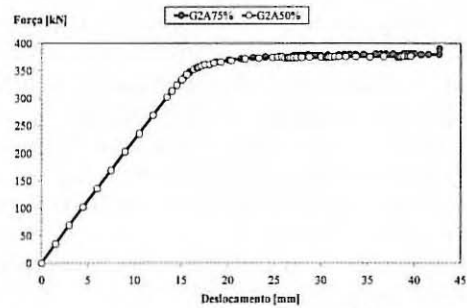
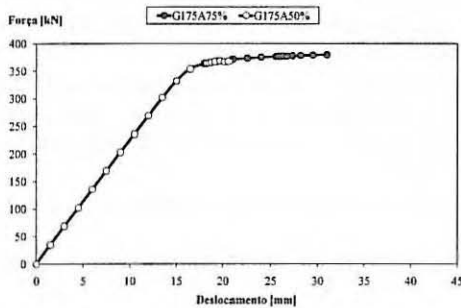


Fig. 5: Modelo de relação tensão deformação para o betão. Influência do confinamento na resistência e na ductilidade.

#### 4 Resultados numéricos

Foram efectuadas simulações numéricas com deslocamento incremental para dois graus de confinamento e para dois valores de zonas de confinamento efectivo. Foram aplicadas as condições de apoio duplo numa extremidade e de apoio simples na extremidade oposta. Estas simulações pretendem validar um dos ensaios experimentais desenvolvidos no departamento de engenharia civil e ambiente do Imperial College de Londres, [1]. O teste em análise é identificado por C20Y0. O valor da força, exercida pelo actuador responsável pelo incremento de deslocamento, é determinado por equilíbrio de forças, sendo caracterizado pelo

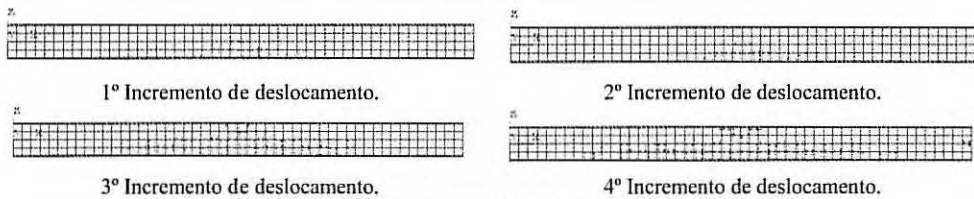
valor algébrico da reacção vertical no local de aplicação do deslocamento incremental. A soma algébrica determina o valor equivalente proporcionado pelo incremento do deslocamento. A primeira cedência da secção é identificada para o intervalo de 15 a 20 [mm] de deslocamento vertical, conforme se pode verificar nos gráficos da figura 6. O aumento da área de confinamento possibilita atingir um maior deslocamento correspondente ao estado limite último.



a) Grau 1.75 para zona efectiva de 50 % e 75%.      b) Grau 2.0 para zona efectiva de 50 % e 75%.

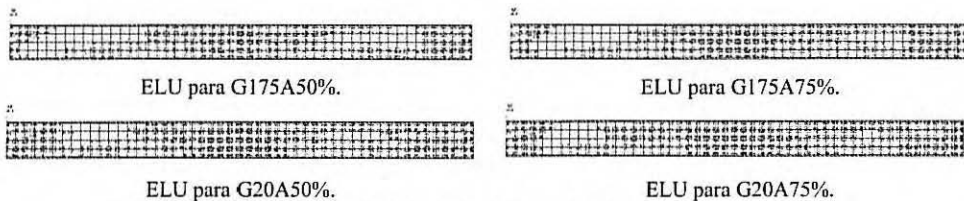
**Fig. 6:** Força versus deslocamento. Simulação para dois níveis e dois valores de confinamento.

A força tem tendência a aumentar gradualmente com aumento da fissuração do betão por flexão. O betão começa por fissurar por tracção, para o primeiro incremento de deslocamento, conforme se representa na figura 7, independentemente do efeito do confinamento, como seria previsto.



**Fig. 7:** Representação da fissuração inicial, caso grau 1.75 para zona efectiva de 75%.

O limite de resistência depende do grau e da percentagem de área de confinamento, conforme se pode observar no estado limite último de resistência. Na figura 8 está representado o estado limite para os dois graus de confinamento e para os dois tipos de zonas confinadas. A diferença de comportamento está dependente do comportamento do betão à compressão e respectiva fissuração por esmagamento.



**Fig. 8:** Representação da fissuração para o estado limite de cada situação.

O aumento do grau de confinamento é responsável pelo aumento da resistência da secção na zona de compressão.

## 5 Conclusões

Neste artigo foi apresentado um modelo numérico para estudo de secções parcialmente embebidas por betão, em regime não linear geométrico e material. Este modelo foi aplicado a um caso de estudo experimental desenvolvido no Imperial College.

Foi estudado o efeito do confinamento do betão, em relação ao estado limite último tendo em consideração o grau de confinamento e a zona efectiva, permitindo concluir que este efeito associado ao de endurecimento por deformação do perfil, é responsável pelo aumento da capacidade resistente deste tipo de secções.

Foi ainda possível analisar a evolução da fissuração do betão, tendo em consideração o estudo paramétrico realizado.

Os resultados e as evidências dos ensaios experimentais foram devidamente validadas pelo modelo numérico.

## Referências

- [1] A. Y. Elghazouli, J. Treadway; “Inelastic behaviour of composite members under combined bending and axial load”, *Journal of Constructional Steel Research*, 64, 1008-1019, 2008.
- [2] Piloto, P.A.G.; Ramos Gavilán, A.B.; Mesquita, L.M.R.; “Ensaio “push-out” para vigas parcialmente embebidas com betão”; 7º Congresso Nacional de Mecânica Experimental; ISBN nº 978-972-669-851-7, pp. 1-3; Vila Real, UTAD, 23-25 de Janeiro de 2008.
- [3] Vassilis K. Papanikolaou, Andreas J. Kappos; “Numerical study of confinement effectiveness in solid and hollow reinforced concrete bridge piers: Analysis results and discussion”; *Journal of Computers and Structures*, 87, 1440-1450, 2009.
- [4] Vassilis K. Papanikolaou, Andreas J. Kappos; “Numerical study of confinement effectiveness in solid and hollow reinforced concrete bridge piers: Methodology”; *Journal of Computers and Structures*, 87, 1427-1439, 2009.