



CONGRESSO DE

# Construção Metálica e Mista

Luis Simões da Silva | J. Almeida Fernandes | António Baptista | Elca Castano | Paulo Pinto



CONGRESSO DE  
**Construção  
Metálica e Mista**

**Actas do VII Congresso de Construção Metálica e Mista**

**LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal**  
**19 e 20 de Novembro de 2009**

**Luís Simões da Silva**

Departamento de Engenharia Civil  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Coimbra, Portugal

**J. Almeida Fernandes**

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
Lisboa, Portugal

**António Baptista**

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
Lisboa, Portugal

**Elsa Caetano**

Departamento de Engenharia Civil  
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto  
Porto, Portugal

**Paulo Piloto**

Departamento de Mecânica Aplicada  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Bragança  
Bragança, Portugal

*organização: CMM – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista*  
*com a colaboração: LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil*



## **VII Congresso de Construção Metálica e Mista**

Copyright © 2009

por Luis Simões da Silva, J. Almeida Fernandes, António Baptista, Elsa Coetano, Paulo Piloto

Editora:

**cmm** – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista  
Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra  
Polo II – Rua Luis Reis Santos  
3030-788 Coimbra, Portugal  
Tel.: +351 239 797 219; Tlm.: +351 965 061 249; Fax: +351 239 405 722  
Email: [cmm@cmm.pt](mailto:cmm@cmm.pt)  
Url: [www.cmm.pt](http://www.cmm.pt)

1ª Edição: Novembro 2009

Tiragem: 350 exemplares

Não é permitida a reprodução total ou parcial deste livro, o registo em suporte informático, ou a transmissão através de qualquer processo electrónico ou mecânico, sem a prévia autorização por escrito dos titulares dos direitos da edição.

Depósito legal: 301888/09

ISBN: 978-989-95605-1-2

Coordenação editorial: Luís F. Silva

Concepção gráfica da capa: 3LM / Rui Veríssimo

Formatação de conteúdos e paginação: Duarte Franco e Filipe Dias

Impressão: Multicomp Lda, Mem Martins

### **Nota da editora**

Este texto foi elaborado a partir da reprodução dos originais preparados pelos autores. Por conseguinte, a editora não pode aceitar qualquer responsabilidade pelo conteúdo, nem por possíveis erros no texto.

## Índice

Comissões	xi
Prefácio	xiii
Patrocínios	xvii

## Conferências

<i>Utilising Strength, Stiffness and Durability to Enhance the Robustness of Steel and Composite Frame Structures</i> David A. Nethercot	1-3
<i>Arquitectura con Acero Galvanizado Almacenes para Pescadores en el Puerto de Congos</i> Irisarri-Piñera (Jesús Irisarri Castro y Guadalupe Piñera Manso)	1-19
<i>"Katrina" Hurricane and Its' Effect on Low-Rise Cold Formed Steel Framing</i> Alan MacQuoid	1-27
<i>Explorar os Limites da Conjugação do Vidro e de Elementos Metálicos em Edifícios</i> Paulo J. S. Cruz   Paulo Carvalho   Jean-Paul Lebet	1-31
<i>Variante de Alcácer Atravessamento Ferroviário Sobre o Rio Sado Enquadramento e Definição Geral da Obra</i> Fernando V. Martins	1-47
<i>Variante de Alcácer do Sal – 2ª Fase – Atravessamento Ferroviário sobre o Rio Sado Construção das Estruturas Metálicas da Ponte e Viadutos de Acesso</i> João Paiva Nunes   Henrique P. Nicolau	1-59
<i>Variante de Alcácer do Sal - Atravessamento Ferroviário Sobre o Rio Sado Projecto de Obras de Arte Congresso de Construção Metálica e Mista</i> António J. Reis   Nuno T. Lopes	1-69

## Comunicações

### Grandes projectos e obras

<i>Autódromo Internacional do Algarve</i> Marco A. P. Santos   Samuel D. Pereira	II-5
<i>Cascade Park Plaza Office Building - Dimensionamento de um Edifício Alto em Zona de Elevada Sismicidade</i> Tiago B. Abecasis   Tiago P. Ribeiro	II-15
<i>Estudo Comparativo de Sistemas Estruturais para Edifícios Altos em Zonas de Elevada Sismicidade</i> Tiago B. Abecasis   Tiago P. Ribeiro	II-27
<i>Hotel Kilamba – Estrutura do Auditório</i> José Cunha   Hugo Marques   Paulo Pimenta   Vânia Mendes	II-39

<i>Reforço do Sistema de Revestimento da Cobertura do Pavilhão Multíplex de Baião</i>	II-49
Jorge Pinto   Abílio Jesus   José Vieira   Luis Ramos   Humberto Varum	
<i>Terminal de Carga do Aeroporto de Lisboa</i>	II-59
Marco A. P. Santos   Samuel D. Pereira	
<b>Pontes, viadutos e passadiços metálicos e mistos</b>	
<i>Cimbre Autolanzável de 70 m de Vão – Viaducto do Engano</i>	II-67
António Albuquerque Póvoas	
<i>Comportamento Diferido de Pontes Atriantadas Mistas</i>	II-75
José J. Oliveira Pedro   António Reis	
<i>Development of Steel and Composite Solutions for Outstanding Viaducts on the Spanish H.S.R. Lines</i>	II-87
Francisco Millanes Mato   Luis Matute Rubio   Miguel Ortega Cornejo   Daniel Martínez Agromayor   Enrique Bordó Bujalance	
<i>The Use and Development of the Network Suspension System for Steel Bowstring Arches</i>	II-97
Francisco Millanes Mato   Miguel Ortega Cornejo   Daniel Martínez Agromayor   Pablo Solera Pérez	
<b>Novos materiais e tecnologias de construção</b>	
<i>Caracterização do Comportamento à Fadiga da Conexão Aço-Betão em Elementos Mistos</i>	II-109
Marco P. T. Fernandes   Isabel B. Valente	
<i>Comportamento Estrutural do Conector T-Perfobond para Vigas Mistas Aço-Betão</i>	II-119
Juliana da C. Vianna   Luís F. da C. Neves   Pedro C. G. da S. Vellasco   Sebastião A. L. Andrade	
<i>Fachada Dupla Pele para Clima do Sul da Europa</i>	II-129
Tiago José Silva   Bruno Alexandre Pereira   Fernando Marques da Silva	
<i>Tecnologia de Conexão em Lajes Mistas: Conectores de Corte de Fixação Directa</i>	II-141
Igor Oliveira	
<b>Análise e verificação da segurança</b>	
<i>Análise Comparativa Entre os Métodos Geral e Simplificado na Verificação de Segurança de Pilares Mistos</i>	II-153
Vitor Barreto   Fernando Medina	
<i>Análise da Estabilidade de Cantoneiras de Aço Formadas a Frio sob Compressão Central e Excêntrica</i>	II-165
Wanderson Fernando Maia   Jorge Muniz Neto   Maximiliano Malite	

<i>Análise da Resistência Elasto-Plástica de Placas Reforçadas Comprimidadas Através de Modelos de Elementos Finitos. Comparação com as Curvas de Dimensionamento do EC3</i>	II-175
Pedro Salgado Ferreira   Francisco Virtuoso	
<i>Análisis de Nudos de Estructuras Metálicas con Perfiles Doble T Mediante los Programas Cypecad y Nuevo Metal 3D</i>	II-185
Jorge A. Canales Bruno	
<i>Aplicação da Mecânica da Fratura no Contexto da Análise Dinâmica de Estruturas pelo Método da Sobreposição Modal</i>	II-195
Carlos M. C. Albuquerque   Paulo M. S. Tavares de Castro   Rui A. B. Calçada	
<i>Aplicação da Teoria Geometricamente Exacta de Vigas à Análise de Pórticos de Aço</i>	II-205
Rodrigo Gonçalves   Manuel Rito Corrêa   Dinar Camotim	
<i>Avaliação Experimental e Numérica dos Parâmetros Modais da Ponte Ferroviária de São Lourenço</i>	II-215
Diogo Ribeiro   Rui Calçada   Raimundo Delgado	
<i>Compartimento Dinâmico de Lajes Mistas com Chapa Colaborante</i>	II-223
Marco F. C. Chaves   Carlos A. S. Rebelo   Rui A. D. Simões	
<i>Critério de Interação entre o Esforço Normal e o Momento Flexor em Secções Elipsóidais Ocas Totalmente Plasticificadas</i>	II-233
António Manuel Baptista	
<i>Resistência ao Esmagamento de Alma de Perfil de Aço Enformadas a Frio</i>	II-244
Ricardo Encarnação   Nuno Silvestre	
<i>Efeito do Confinamento em Secções Parcialmente Embebidas com Betão</i>	II-253
Paulo A. G. Piloto   Ana B. Ramos Gavilán   Luís M. R. Mesquita   Dominique S. Lima	
<i>Estabilidade de Pórticos Metálicos Contraventados</i>	II-259
Cilmar Basaglia   Dinar Camotim   Nuno Silvestre	
<i>Estabilidade e Pós-Encurvadura de Cantoneiras</i>	II-269
Pedro Borges Dinis   Nuno Silvestre   Dinar Camotim	
<i>Métodos Avançados de Análise por Elementos Finitos para Verificação da Estabilidade De Estruturas Metálicas</i>	II-279
Liliana Marques   Luís Simões da Silva   Carlos Rebelo	
<i>Nova Metodologia de Dimensionamento Sísmico de Pórticos Metálicos</i>	II-289
José Miguel Castro   António Villani   Ahmed Y. Elghazouli	
<i>Novas Propostas de Curvas de Interação para Vigas-Coluna em Aço Inoxidável com e sem Encurvadura Lateral</i>	II-299
Nuno Lopes   Paulo Vila Real   Luis Simões da Silva	
<i>Post-Buckling Behaviour of Elliptical Tubes</i>	II-312
Nuno Silvestre   Leroy Gardner	
<i>Resistência em Regime Elástico de Secções em I Submetidas a Flexão Desviada e Esforço Normal</i>	II-321
António Manuel Baptista	

**Comportamento de estruturas em situação de incêndio**

*Análise Experimental da Resistência ao Fogo de Pilares de Aço com Dilatação Térmica Restringida* II-333

António José M. Correia | João Paulo C. Rodrigues

*Análise Térmica de Estruturas de Aço Externas a Edificações, sem Revestimento Contra Fogo* II-343

Valdir Pignatta Silva | Macksuel Soares de Azevedo

*Comportamento Termomecânico de Pilares de Aço Inseridos em Paredes em Caso de Incêndio* II-353

António José P. M. Correia | João Paulo C. Rodrigues

*Estabilidade de Pórticos Metálicos em Situação de Incêndio* II-363

Paulo Vila Real | Carlos Couto | Nuno Lopes

*Metodologia para Modelação Probabilística da Resistência à Fadiga de Ligações Rebidas* II-375

José F.A.O. Correia | Abílio M.P. de Jesus

*Novas Propostas de Curvas de Interação para Vigas-Coluna em Aço Inoxidável com e sem Encurvadura Lateral em Situação de Incêndio* II-387

Nuno Lopes | Paulo Vila Real | Luís Simões da Silva

*Numerical Analysis of Composite Steel-Concrete Car Parks Subjected to Localized Fires* II-397

Haremsa, C. | Santingo, A. | Simões da Silva, L. | Rodrigues, J.P.C.

*Transmissão de Calor em Elementos de Aço e Mistos de Aço e Betão ao Fogo - Comparação entre Métodos Simplificados e Avançados de Cálculo* II-407

Filipe da Silva Bernardes | João Paulo C. Rodrigues

*Utilização de Métodos Avançados no Cálculo Estrutural ao Fogo: Casos de Estudo* II-417

Paulo Vila Real | Nuno Lopes

**Comportamento de ligações estruturais**

*Aplicação do Método das Componentes a Carregamentos Cíclicos* II-431

João Pedro Santos | Luís Calado

*Avaliação do Comportamento Estrutural de Conectores em Estruturas Mistas* II-441

J. P. S. Cândido Martins | L. F. Costa Neves | P. C. G. Da S. Vellasco

*Coefficiente de Atrito em Ligações Metálicas Pré-Esforçadas em Função do Tratamento Superficial* II-449

Alexandra Feliz Cruz | Rui A. D. Simões | Rui Alves

*Comportamento de Ligações Tipo "T" entre Perfis SHS Sujetos a Momento Flector* II-461

Luís Filipe Duarte | Sandra Jordão | Luís F. Costa-Neves | Luciano R. O. de Lima

*Dimensionamento das Ligações Estruturais Aço-Betão* II-471

Fernando Jorge Gonçalves e Gramaxo

<i>Ensaios de Fadiga de Ligações Metálicas por Atrito para Torres Eólicas Metálicas</i>	II-479
R. Matos   C. Rebelo   R. Simões   L. Simões da Silva   M. Veljkovic	
<i>Influência do Esforço Axial na Corda Sobre a Resistência e a Rigidez de Ligações do Tipo "T" entre Perfis RHS - Estudo Paramétrico</i>	II-491
Rui M. M. P. de Matos   Luís F. Costa-Neves   Luciano R. O. de Lima	
<i>Ligações Aço-Betão: Modelação Numérica de Componentes Envolvendo Betão</i>	II-501
José Henriques   Luís Simões da Silva   Isabel B. Valente	
<i>Métodos de Aperto de Parafusos em Ligações Metálicas Pré-Esforçadas</i>	II-511
F. Rodrigues   R. Simões	
<i>Modelação de Ligações na Análise Sísmica de Pórticas Metálicas</i>	II-521
Luertres Mota   Carlos Rebelo   Luís Simões da Silva   Pedro Nogueira   Luciano Lima	
<i>Substituição de Rebites por Parafusos Injectados com Resina</i>	II-531
Jonas Mattes   António M. Baptista   Francisco Virtuoso   João André	

#### **Estudos e produtos especiais**

<i>Aço Galvanizado - Uma Contribuição para a Sustentabilidade</i>	II-543
Andreia I. Granadeiro Cercas Marques	
<i>Affordable Houses: Um Conceito Modelar de Habitação Unifamiliar Residencial</i>	II-553
Vitor Martinho   Luís Simões da Silva   António Correia   Hélder Ferreira   Carlos Rebelo   Paulo Santos   Helena Gervásio   Sandra Jordão   Aldina Santiago   Constança Rigueiro   Diogo Mateus	
<i>Comportamento Sísmico de Estruturas Híbridas Aço-Betão</i>	II-563
Nuno Torres Queirós   José Miguel Castro   Nelson Vila Pouca	
<i>Curva de Dimensionamento para Prumos Telescópicos Extensíveis de Aço Submetidos a Compressão Axial</i>	II-573
João André   António M. Baptista   Dinis Cumotim	
<i>Estudo Económico de Estruturas Mistas Contraventadas Aço-Betão</i>	II-583
Catarina S. S. Costa   Luís F. Costa Neves   Luciano R. O. de Lima	
<i>Lajes Mistas com Chapa Colaborante Soluções para Melhorar o seu Comportamento</i>	II-593
R. Carmona   J. C. Branco   R. Simões	
<i>Sistema Construtivo MADREMAX Metodologia de Cálculo - CTICM (Centre Technique Industriel de la Construction Métallique)</i>	II-605
Anthony Rodier   Vasco Miguel de Jesus Lemos	
<i>Solução Estrutural Mista Aço-Betão para os Abrigos dos Aviões F-16</i>	II-617
Fernando R.S. Lopes   José J.C.B. Oliveira Pedro   Rui A.S. Mendes	
<i>Timas sem Solventes sobre Hidrodecapagem: Vantagens na Pintura de Pontes Metálicas</i>	II-627
João M. S. Azevedo	
<i>Passagens Superiores Mistas em Curva</i>	II-637
Mário Veloso   Rui Veloso Mendes	



*Dimensionamento e Execução de Pontes Mistas Segundo o SATCC: Análise Comparativa com o EC1*

II-643

Filipe Santos | Helena Gervásio

**Comissão Organizadora**

Luís Simões da Silva, CMM  
J. Almeida Fernandes, LNEC  
António Baptista, LNEC  
Elsa Caetano, FEUP  
Paulo Piloto, IPB

**Comissão Científica**

António Lamas, Presidente, IST  
Ana Gírio Coelho, ISEC  
A. Adão da Fonseca, FEUP  
António Baptista, LNEC  
António Reis, IST  
Carlos Martins, MARTIFER SA  
Carlos Rebelo, FCTUC  
Dinar Camotim, IST  
Elsa Caetano, FEUP  
Francisco Virtuoso, IST  
Helena Gervásio, FCTUC  
Isabel Valente, UM  
J. Almeida Fernandes, LNEC  
João Leal, ANA  
João Fonseca, UBI  
João Paulo Rodrigues, FCTUC  
João Rocha de Almeida, UNL  
José Clemente, REFER  
José Moia Freitas, FEUP  
Luís Bragança, UM  
Luís Borges, BG INGÉNIEURS CONSEILS  
Luís Calado, IST  
Luís Cância, J.L. CÂNCIO MARTINS, LDA  
Luís Costa Neves, FCTUC  
L. Oliveira Santos, LNEC  
Luís Simões da Silva, FCTUC  
Mamela Salta, LNEC  
Nuno Silvestre, IST  
Paulo Cruz, UM  
Paulo Piloto, IPB  
Paulo Santos, FCTUC  
Paulo Vila Real, UA  
Rui Simões, FCTUC  
Tiago Abecasis, TAL PROJECTO, Lda  
Vitor Martinho, FCTUC

### **Comissão Executiva**

Luís Simões da Silva, CMM  
L. Oliveira Santos, LNEC  
João P. Santos, LNEC  
Luís Figueiredo Silva, CMM  
Filipe Dias, CMM  
Zínia Antunes, CMM

ANA Aeroporos de Portugal | FCTUC Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra |  
FEUP Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto | IPB Instituto Politécnico de Bragança |  
ISEC Instituto Superior de Engenharia de Coimbra | IST Instituto Superior Técnico | LNEC Laboratório  
Nacional de Engenharia Civil | REFER Rede Ferroviária Nacional | UA Universidade de Aveiro |  
UBI Universidade da Beira Interior | UM Universidade do Minho | UNL Universidade Nova de Lisboa

## 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>a</sup> e Dominique S. Lima <sup>b</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 banzo, 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.

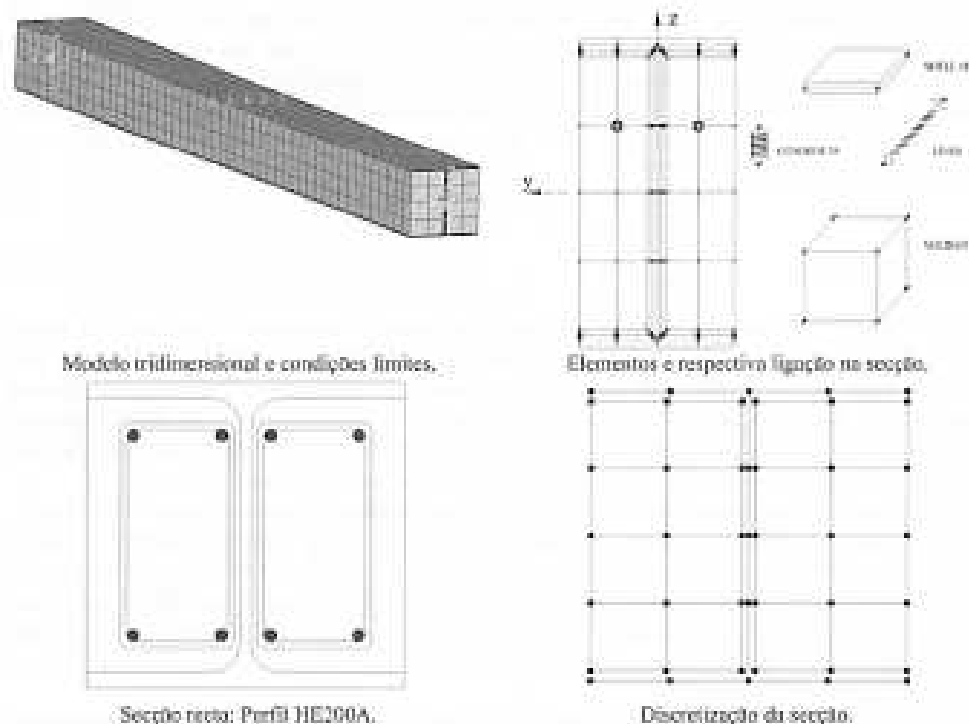


Fig. 2: Modelo de secção mista.

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 representada pela relação definida na figura 3, [2].

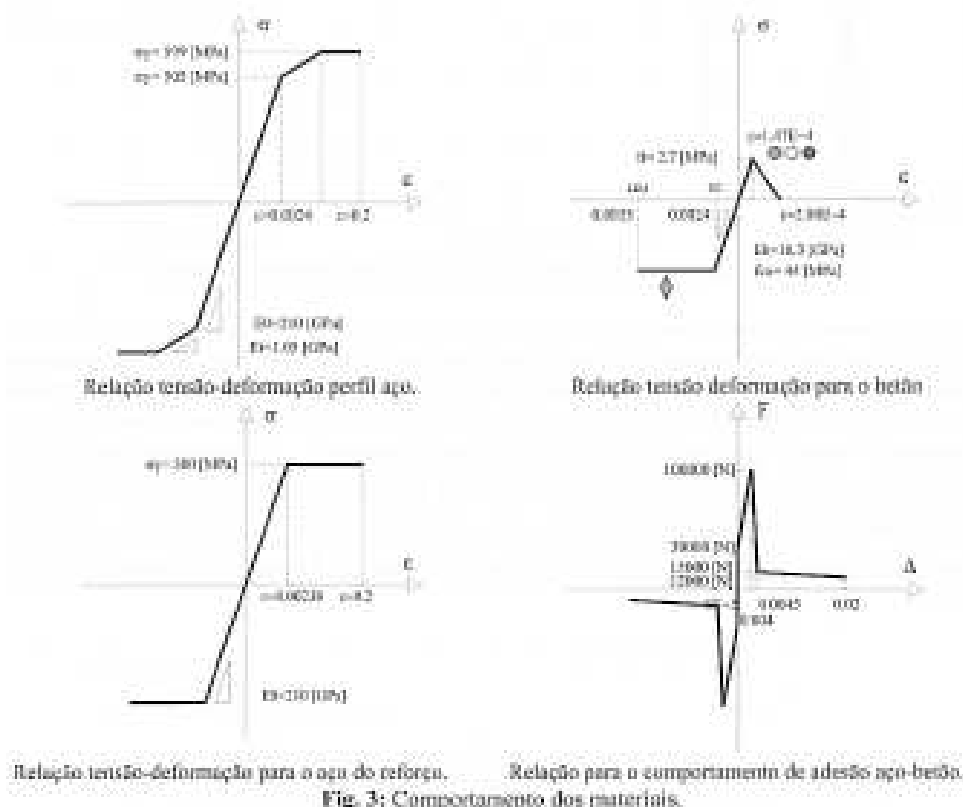


Fig. 3: Comportamento dos materiais.

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.

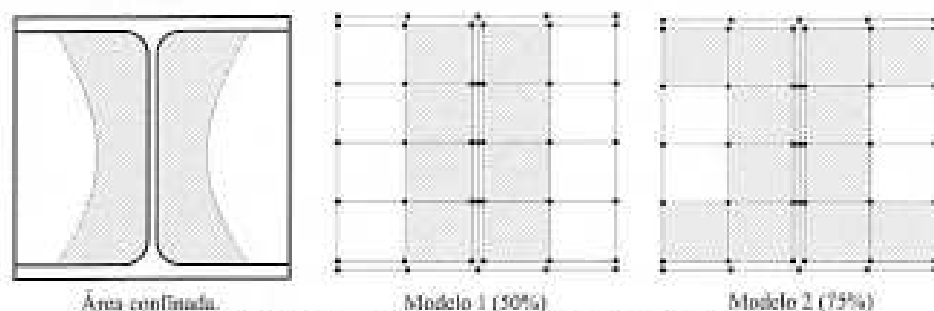


Fig. 4: Zona efectivamente confinada para secções parcialmente enclaustradas.

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,  $f_{ce}$ . De igual forma são apresentados valores para o valor crítico da deformação do betão para ambas as zonas,  $\epsilon_{cc}$  e  $\epsilon_{ce}$ , respectivamente, ver figura 5. As outras características do comportamento do material podem ser consideradas não afectadas.

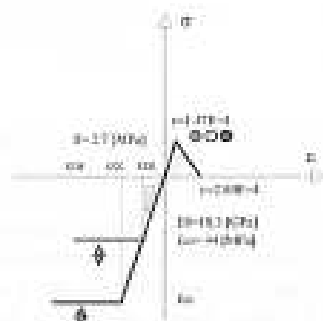


Fig. 5: Modelo de relação tensão-deformação para o betão. Influência do confinamento na resistência e na ductilidade.

#### 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.

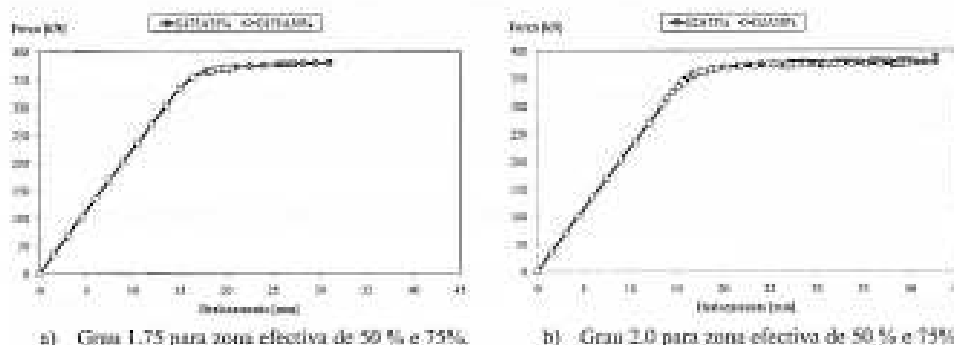


Fig. 6: Força versus deslocamento. Simulação para dois níveis e dois valores de confinamento.

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.

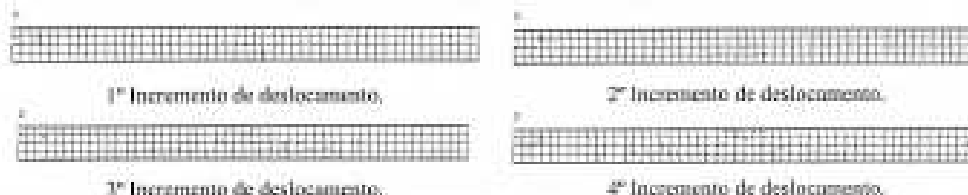


Fig. 7: Representação da fissuração inicial, caso grau 17.5 para zona efectiva de 75%.

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.

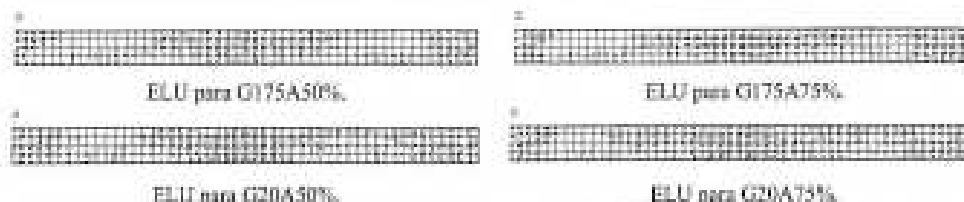


Fig. 8: Representação da fissuração para o estado limite de cada situação.



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. Elghuzouli; 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.