



IX CONGRESSO DE
Construção Metálica
e Mista & I CONGRESSO
LUSO-BRASILEIRO DE
Construção Metálica Sustentável

CARACTERIZAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE LIGAÇÕES AÇO-BETÃO

José Henriques^{a*}, Luís Simões da Silva^b e Isabel B. Valente^c

^{a,b} *ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra*
^c *ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho*

Resumo. No presente artigo abordam-se as ligações estruturais aço-betão utilizando uma configuração desenvolvida no projecto RFCS “InFaSo”. Efectua-se uma abordagem sequencial, com caracterização numérica e analítica de partes da ligação e da ligação completa. A validação experimental é feita sempre que possível com a contribuição dos resultados do referido projecto e da literatura disponível. Assim, propõem-se modelos numéricos e analíticos que permitem avaliar o comportamento de uma ligação entre viga mista e parede de betão armado.

1. Introdução

A concepção de estruturas que combinam elementos em betão armado (ex. fundações e núcleos centrais) com elementos em aço ou mistos (ex. pilares, lajes e vigas) apresenta-se como uma solução competitiva, quer do ponto de vista estrutural quer do ponto de vista económico, para edifícios de vários andares. A performance estrutural e o processo de construção são otimizados de acordo com a natureza dos elementos, como é exemplo o edifício "Millennium Tower" em Viena, Austria [1].

No dimensionamento deste tipo de estruturas o projectista depara-se com duas realidades: i) o dimensionamento de elementos e ii) o dimensionamento das ligações. Se no primeiro caso as versões actuais dos Eurocódigos[2], [3], [4] abordam de uma forma completa e consistente os diferentes tipos de elementos, no que diz respeito às ligações, a ausência de abordagem às ligações entre elementos de betão armado e aço/mistos é evidente. Para o dimensionamento deste tipo de ligações é requerido ao projetista um conhecimento multidisciplinar que deve englobar: i) betão armado; ii) ligações metálicas; e iii) ancoragens em betão armado. Em todas estas áreas existe um *background* extenso e consistente faltando a unificação das metodologias existentes.

Ao longo das últimas décadas, o desenvolvimento do método das componentes permitiu demonstrar a eficiência desta metodologia na avaliação do comportamento de ligações metálicas e mistas. Consequentemente, a sua extensão a ligações estruturais aço-betão revela-se conveniente e requer a integração de “novas” componentes associadas aos modos de rotura

que ocorrem no elemento de betão armado. Assim, torna-se necessário caracterizar e incluir estas componentes no modelo global de avaliação do comportamento da ligação.

No presente artigo é feita uma abordagem às ligações estruturais aço-betão, utilizando uma configuração desenvolvida no projecto de investigação RFCS "InFaSo" [5]. Efectua-se uma abordagem sequencial, com caracterização numérica e analítica de partes da ligação, envolvendo apenas um grupo de componentes, e da ligação completa. A validação experimental é feita sempre que possível com os resultados do referido projecto e da literatura disponível.

2. Descrição da ligação entre viga mista e parede de betão armado

No âmbito do projecto de investigação RFCS "InFaSo" [5] foi idealizada a configuração para ligação entre viga mista e parede de betão armada ilustrada na Fig. 1. Na versão aqui apresentada, a configuração permite obter uma solução com capacidade de transmissão de momento flector entre membros; solução semi-contínua ou contínua. No entanto, a versatilidade desta configuração permite, com simples modificações, obter outras soluções com diferente desempenho estrutural como é o caso de ligação simples ou rotulada. A apresentação desta vertente da ligação não é objecto do presente artigo, podendo ser consultada em [6].

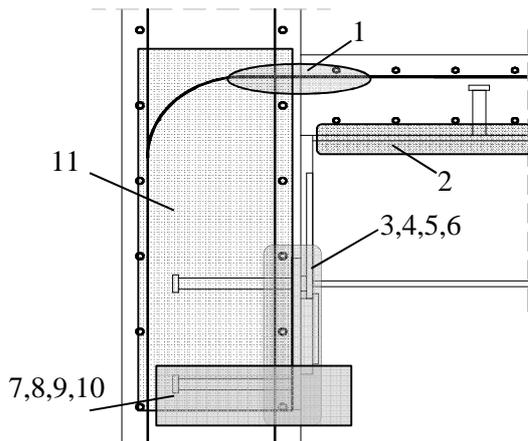


Fig. 1: Configuração da ligação entre viga mista e parede de betão armado em estudo

Tabela 1: Identificação de componentes activadas

Nº	Componente
1	Armadura longitudinal da laje à tracção
2	Escorregamento na interface da viga mista
3	Banzo e alma da viga à compressão
4	Chapa de contacto em compressão
5	Chapa de ancoragem em flexão sob compressão
6	Betão à compressão
7	Chumbadouro de cabeça à tracção
8	Cone de betão
9	Arrancamento do chumbadouro
10	Chapa de ancoragem à flexão sob tracção
11	"Joint Link"

A presente configuração pode ser dividida em duas partes: i) parte superior, ligação entre laje e parede de betão armado; ii) parte inferior, ligação entre viga metálica e parede de betão armado. Tendo em mente a implementação do método das componentes para caracterização da presente ligação, na Fig. 1 e na Tabela 1 identificam-se as diferentes componentes activadas e que devem ser consideradas no estudo do comportamento da ligação. Na parte superior, a ligação é obtida prolongando a armadura longitudinal da laje para o interior da parede de betão armado e ancorando esta armadura no seu interior. Na parte inferior, é utilizada uma chapa metálica ancorada à parede de betão armado através chumbadouros de cabeça. Na parte exterior desta chapa, encontra-se soldada uma consola curta metálica formada por duas chapas desalinhas criando uma saliência na parte mais externa. A viga metálica possui uma chapa de topo que se apoia na referida consola. A saliência criada na consola permite que a chapa de topo esteja bloqueada a um possível escorregamento da viga no sentido longitudinal da mes-

ma. De forma a transferir o esforço de compressão, que gera com a flexão da viga (momento flector negativo), é colocada uma chapa de contacto entre a chapa de topo da viga e a chapa metálica ancorada à parede de betão armado, ao nível do banzo inferior da viga metálica.

No âmbito do trabalho apresentado neste artigo, apenas se considera o estudo da ligação submetida a um momento flector negativo. Na Tabela 2 resumem-se as principais propriedades mecânicas e geométricas do provete referência ensaiado no âmbito do referido projecto [5]. As notações utilizadas têm a seguinte significação: b – largura; h – altura; t – espessura; l – comprimento; d – diâmetro; s – espaçamento; f_{cm} – valor médio da resistência à compressão; f_{sym} – valor médio da tensão de cedência; f_{sum} – valor médio da tensão última; n – número de chumbadouros. Estas propriedades são os elementos base do trabalho apresentado nos capítulos que seguem do presente artigo. Informação mais detalhada pode ser obtida em [6].

Tabela 2: Principais propriedades mecânicas e geométricas do provete referência [5]

Peça		Propriedades Mecânicas e Geométricas
Parede de betão armado		$b=1450mm; h=1600mm; t=300mm; f_{cm}=70,3MPa$
Viga Metálica		$l = 1550mm; IPE 300; f_{sym}= 427MPa; f_{sum}= 553MPa$
Laje de betão		$b=700mm; h=120mm; l=1550mm; f_{cm}=69,9MPa$
Armadura longitudinal		$d=16mm; f_{sym}=570MPa; f_{sum}= 673MPa$
Chumbadouros viga mista		$n = 9; s = 140mm; d = 22mm; f_{sym}= 470MPa; f_{sum}= 572MPa$
Chapa ancorada		$b = h = 300mm; t = 15mm; f_{sym}= 427MPa; f_{sum}= 553MPa$
Ancoragens		$d = 22mm; l = 200mm; s = 150mm; f_{sym}= 470MPa; f_{sum}= 572MPa$
Consola metálica	Chapa interna	$b = 200mm; h= 200mm; t = 20mm; f_{sym}= 427MPa; f_{sum}= 553MPa$
	Chapa externa	$b = 170mm; h= 140mm; t = 10mm; f_{sym}= 427MPa; f_{sum}= 553MPa$
Chapa de topo		$b = 170mm; h = 250mm; t = 10mm; f_{sym}= 427MPa; f_{sum}= 553MPa$
Chapa de contacto		$b = 200mm; h = 20mm; t = 10mm; f_{sym}= 427MPa; f_{sum}= 553MPa$

3. Ligação parcial: chapa de ancoragem

3.1 Generalidades

Neste capítulo apresenta-se a caracterização do comportamento da chapa de ancoragem (parte inferior da ligação Fig. 1) obtida por via numérica e analítica. No caso de a ligação estar sob a acção de um momento flector negativo, a chapa de ancoragem está principalmente submetida a compressão. Conforme demonstrado em [6], o efeito do esforço transversal, que é transmitido por esta parte da ligação, é desprezável. Nesta parte da ligação analisam-se simultaneamente a participação das componentes 5 a 10 no comportamento da ligação completa.

3.2 Caracterização numérica do comportamento

O programa de elementos finitos Abaqus [7] é utilizado para desenvolver o modelo numérico que visa simular a ligação ilustrada na Fig. 2-a) que consiste numa chapa metálica ancorada a um bloco de betão armado utilizando 4 chumbadouros de cabeça. Uma força de compressão, reproduzindo a acção do momento flector negativo sobre esta parte da ligação completa, é aplicada de forma excêntrica sobre uma chapa de contacto ao nível da linha de ancoragens superior. De forma a simular as mesmas condições que na ligação completa (Fig. 1), a consola metálica é incluída. Neste estudo desprezaram-se os efeitos da proximidade dos bordos do elemento de betão armado. No modelo desenvolvido, e que se ilustra na Fig. 2-b), utilizam-se as seguintes ferramentas numéricas: i) elementos sólidos 3D; ii) interações (contacto); iii) não linearidade material e geométrica. Nesta simulação não se consideram as armaduras do ele-

mento de betão armado devido à sua reduzida influência no comportamento da ligação em estudo. Detalhe sobre o modelo numérico desenvolvido é apresentado em [6] e a sua validação, com resultados experimentais disponíveis na literatura é apresentada em [8].

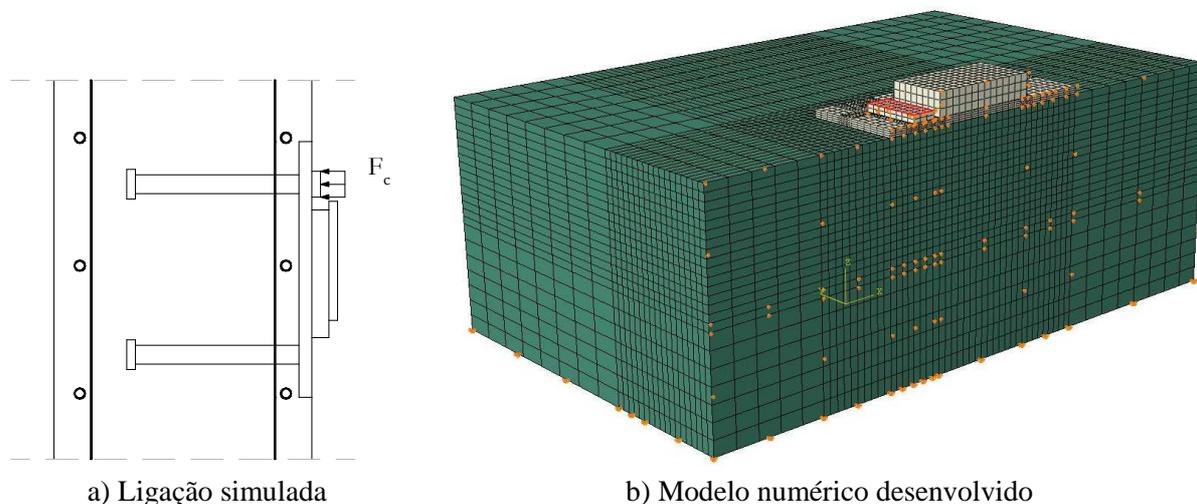


Fig. 2: Chapa de ancoragem submetida a compressão

Nas simulações realizadas, o critério de rotura consistiu na limitação da deformação do betão através da extensão última de compressão (ϵ_{cu}) conforme [2]. A resposta obtida é apresentada na Fig. 3-a), onde se reproduz a curva força de compressão-deslocamento (na interface da chapa de ancoragem com o betão). Verifica-se uma resposta não linear, com uma resistência elevada ($\approx 1400kN$) e uma baixa deformabilidade (Max. $0,6mm$). Na Fig. 3-b), apresenta-se a plastificação da chapa de ancoragem que se observa no contorno da chapa de contacto onde se introduziu a força de compressão. Na Fig. 3-c) mostram-se as tensões de von Mises no conjunto chapa e ancoragem. Para além das tensões máximas na zona plastificada, observa-se que as tensões no bordo da consola, no lado não carregado da ligação, são elevadas não atingindo no entanto o limite de elasticidade. A inversão da deformação da chapa devida à ancoragem localizada na zona não carregada é evidente. Consequentemente, esta ancoragem é activada à tracção, não ultrapassando no entanto 10% da sua capacidade, determinada analiticamente [6].

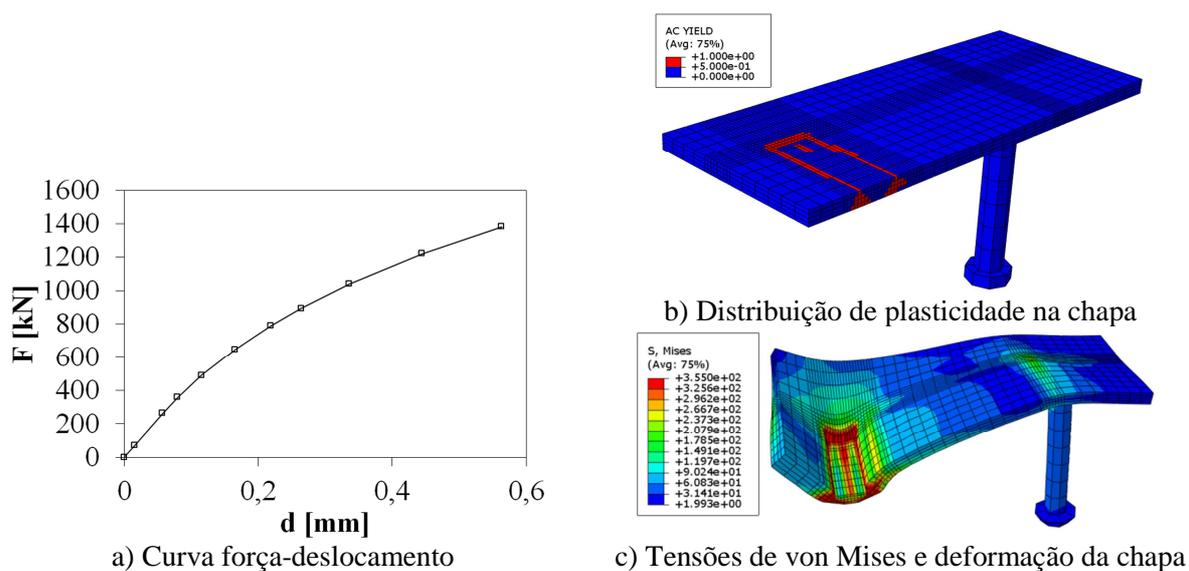


Fig. 3: Resultados do modelo numérico reproduzindo a chapa de ancoragem à compressão

3.3 Modelação analítica e respectiva validação

Apresentam-se dois modelos analíticos para reprodução do comportamento da chapa de ancoragem submetida a força de compressão. O modelo sofisticado ilustrado na Fig. 5-a) é mais completo e é baseado no modelo para base de colunas proposto em [9]. Neste modelo, a interacção entre chapa de ancoragem e betão é discretizada por molas de translação activadas apenas em caso de compressão (componente 6). A ancoragem activada à tracção é representada por uma mola de translação, só activa em tracção, e que reproduz as várias componentes associadas à ancoragem à tracção (componente 7, 8 e 9 na Tabela 1). A chapa em flexão é introduzida no modelo nas zonas onde se verificou numericamente a flexão da chapa (componente 5 e 10). Na Fig. 5-b) apresenta-se o modelo simplificado idealizado e que consiste numa adaptação do modelo “T-stub” à compressão proposto em [10] para avaliação da componente chapa de base à flexão sob compressão. Este modelo consiste na introdução do efeito da ancoragem (k_a), submetida a tracção no lado não carregado da chapa, na determinação da largura efectiva (c'). O detalhe sobre os modelos propostos é apresentado em [6].

A comparação de resultados com o modelo numérico apresentada na Fig. 5, demonstra a boa aproximação obtida em termos de resposta força-deslocamento. É evidente a melhor aproximação do modelo sofisticado, uma vez que este permite explorar o comportamento da chapa para além do início da plastificação da chapa contrariamente ao modelo simplificado. Em [6] é apresentada a validação do modelo para uma gama paramétrica mais alargada.

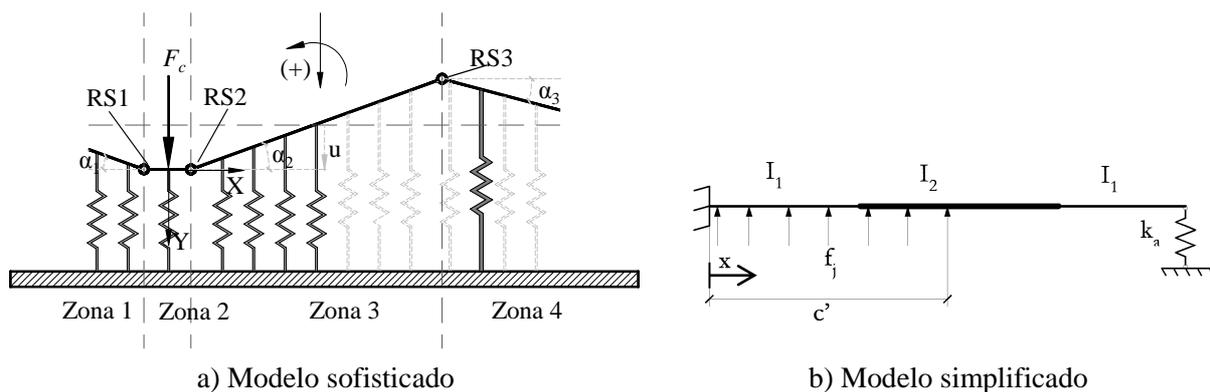


Fig. 4: Modelos analíticos para a chapa de ancoragem à compressão

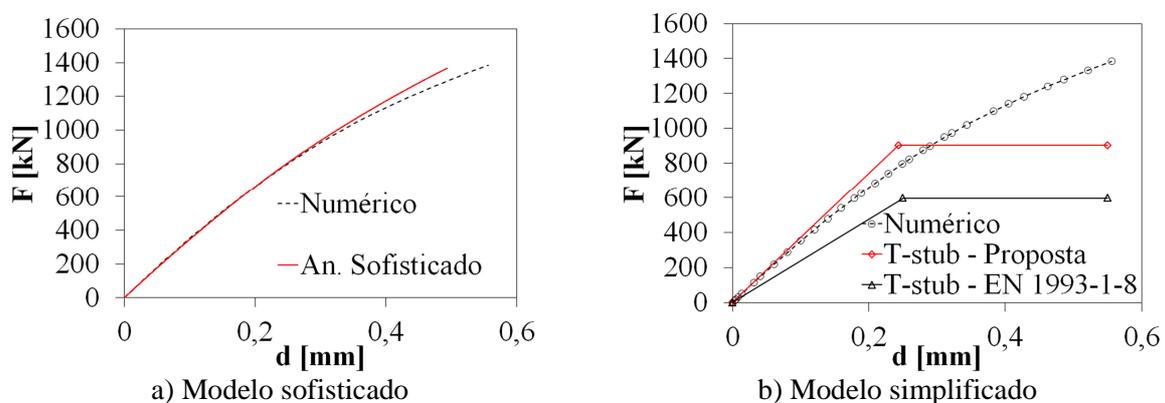


Fig. 5: Aplicação e comparação dos modelos analíticos

4. O elemento de betão armado: “JointLink”

A componente denominada como “JointLink” representa a região da parede de betão armado adjacente à ligação que é fortemente influenciada pela última aquando da transmissão de um momento flector da viga para a parede. Nesta zona, são introduzidas forças de tracção e compressão consideráveis, resultantes do binário produzido pelo momento flector transferido, e que devem encontrar equilíbrio. Na ausência de ensaios experimentais específicos para o estudo desta parte ligação, este baseou-se essencialmente na análise numérica, que posteriormente originou a proposta de um modelo analítico, cujo detalhe é apresentado em [6].

Para o estudo da componente “JointLink”, o modelo numérico desenvolvido (Fig. 6) considera a reprodução de: i) parede de betão armada; ii) armadura ordinária desta; iii) armadura longitudinal da laje; iv) a chapa de ancoragem, sem as ancoragens; v) e chapa de contacto. Neste modelo a parede encontra-se fixa nos topos, e o carregamento consiste na aplicação de um binário, tracção e compressão, ao nível da armadura e chapa de contacto, respectivamente. O estudo consiste na observação das tensões desenvolvidas no interior da parede e na obtenção de uma curva força-deformação que represente a participação desta no comportamento da ligação. A Fig. 7 apresenta os resultados obtidos em termos de tensões principais máxima e mínima, aquando da carga máxima. As tensões mais elevadas observam-se na zona de ancoragem da armadura longitudinal e na zona da chapa de ancoragem. O fluxo de tensões entre estas duas zonas e na direcção dos apoios também é evidente. Uma análise mais detalhada destes resultados é apresentada em [6].

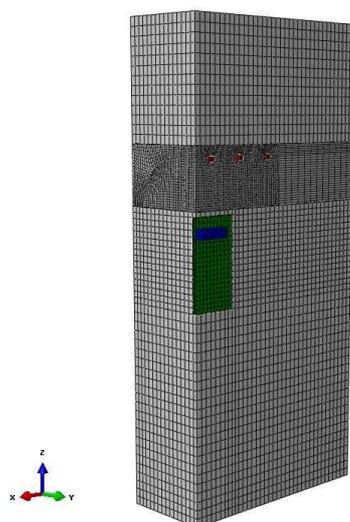


Fig. 6: Modelo para estudo da componente “JointLink”

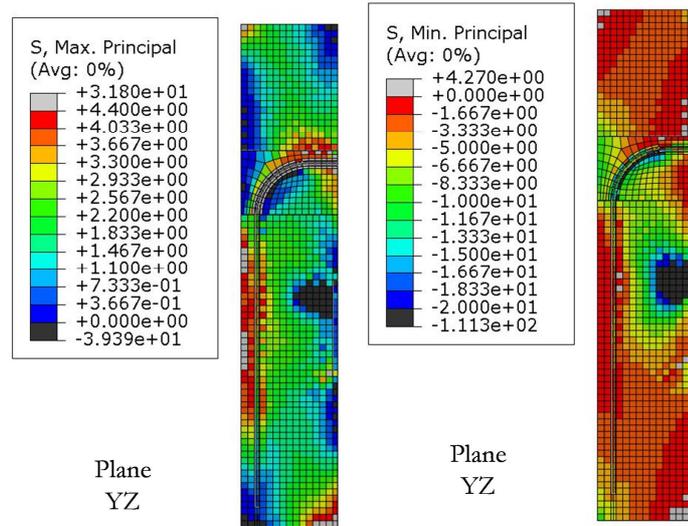


Fig. 7: Tensões principais máximas e mínimas na parede de betão armado

De acordo com a natureza desta região da ligação, e com base nas observações do estudo numérico, o modelo analítico idealizado, para representar esta componente, consiste num modelo de bielas e tirantes. De uma forma simplificada, assumiu-se uma biela a unir a zona de tração à zona de compressão, conforme se ilustra na Fig. 8. De acordo com os princípios do modelo de bielas e tirantes, a resistência é definida pela resistência da biela e dos nós na sua extremidade. A forma que se idealiza para a biela é uma forma de “Garrafa” (“Bottle-shaped”). Tendo em conta que se despreza a influência das extremidades da parede neste tipo de bielas, de acordo com [11], a resistência é obtida pela menor das resistências dos nós adjacentes. No que diz respeito à deformação, dada a complexidade do campo de deformações na parede na zona da ligação, optou-se por fazer uma aproximação matemática em função da

força aplicada e com base nos resultados do estudo numérico. Na Tabela 3, apresentam-se as expressões resultantes do modelo descrito. As variáveis envolvidas representam: $F_{C-T,JL}$ – resistência da “JointLink”; $F_{r,N1}$ – resistência do nó N1; $F_{r,N2}$ – resistência do nó N2; θ – ângulo da biela; A_{N1} – área útil de betão no nó N1; ν – factor redutor das tensões resistentes do betão [2]; f_{cd} – tensão de compressão de dimensionamento do betão; $b_{eff,rb}$ – largura efectiva sobre a armadura longitudinal na zona de amarração; r – raio da amarração da armadura longitudinal; A_{N2} – área útil de betão no nó N2; l_{eff} e b_{eff} – comprimento e largura efectiva sobre a chapa de ancoragem, respectivamente. Na Fig. 9 apresenta-se a curva força-deslocamento. A força representa a acção aplicada e o deslocamento representa a deformação obtida na biela inclinada. A força máxima é limitada pela resistência do betão uma vez nas simulações realizadas, o aço é modelado com um comportamento elástico linear. Assim, pode-se obter um limite superior para esta componente. Verifica-se uma boa aproximação entre modelo numérico e analítico, sendo especialmente relevante para a resistência, uma vez que no modelo analítico a expressão proposta para a deformação resulta directamente dos resultados do modelo numérico.

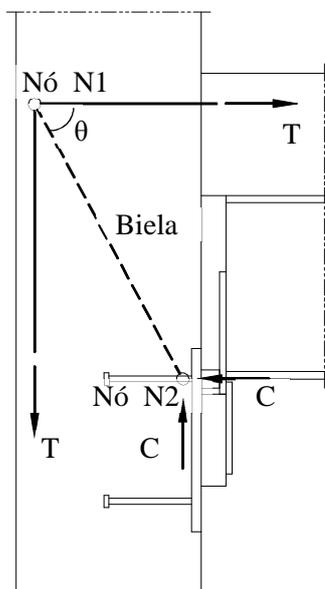


Fig. 8: Modelo de bielas e tirantes idealizado para a componente “JointLink”

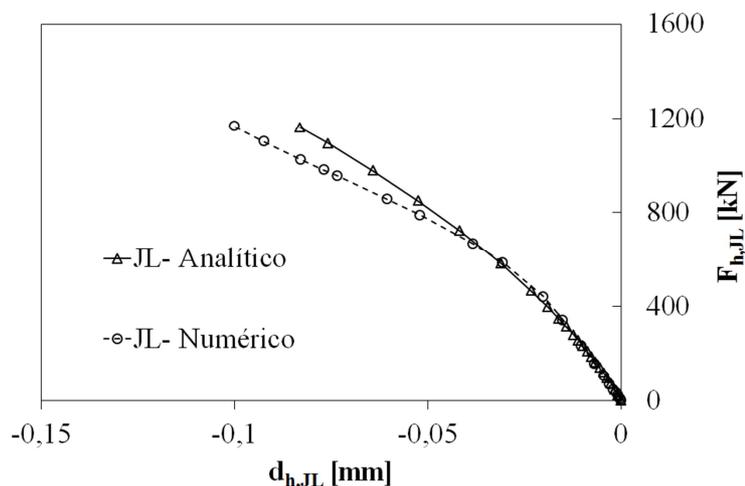


Fig. 9: Resultado de aplicação do modelo analítico e comparação com o resultado do modelo numérico

Tabela 3: Expressões resultantes do modelo analítico para a avaliação da componente “JointLink”

Parâmetro	
Resistência	$F_{C-T,JL} = \text{Min}(F_{r,N1}; F_{r,N2}) \text{Cos}(\theta)$ $F_{r,N1} = A_{N1} 0,75 \nu f_{cd}; A_{N1} = b_{eff,rb} 2r \text{Cos}(\theta)$ $F_{r,N2} = A_{N2} 3 \nu f_{cd}; A_{N2} = \frac{l_{eff}}{\text{Cos}(\theta)} b_{eff}$
Deformação	$d_{h,JL} = (6,48E^{-8} F_{C-T,JL}^2 + 7,47E^{-5} F_{C-T,JL}) \text{Cos} \theta$

5. Caracterização do comportamento da ligação

5.1 Ensaios experimentais

No âmbito do projecto de investigação RFCS “InFaSo” [5], foi realizado um grupo de 3 ensaios experimentais que permitiu caracterizar o comportamento da ligação. O esquema de ensaio ilustrado na Fig. 10, consiste no carregamento de uma viga mista em consola que se fixa a uma parede de betão armado utilizado a configuração descrita em 2 e ilustrada na Fig. 1. As principais propriedades mecânicas e geométricas dos provetes ensaiados apresentaram-se na Tabela 2 e informação mais detalhada pode ser consultada em [12]. A partir dos ensaios realizados foi possível obter a resposta da ligação através da curva momento-rotação. A curva extraída é apresentada na secção 5.3 do presente capítulo comparando o resultado com a resposta do modelo analítico. Em todos os ensaios, a resistência da ligação foi limitada pela capacidade da armadura longitudinal da laje, e conseqüentemente, a capacidade de rotação.

5.2 Simulação do comportamento por elementos finitos

De forma a completar o trabalho experimental realizado no âmbito do projecto [5], foram desenvolvidos modelos numéricos (Fig. 11) no software Abaqus [7]. O processo de validação e calibração, assim como de exploração dos resultados numéricos encontra-se fora do âmbito do presente artigo, mas são detalhadamente apresentados em [12].

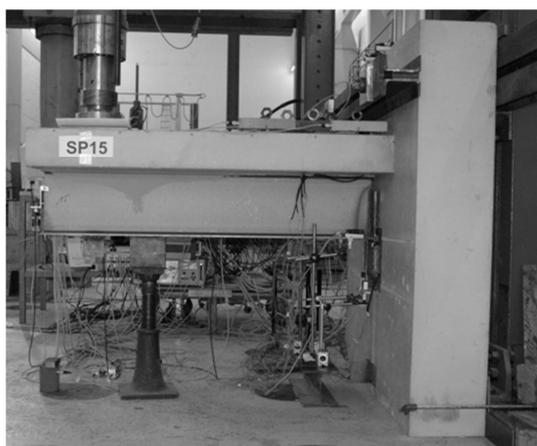


Fig. 10: Esquema de ensaio da ligação entre viga mista e parede de betão armado [5]

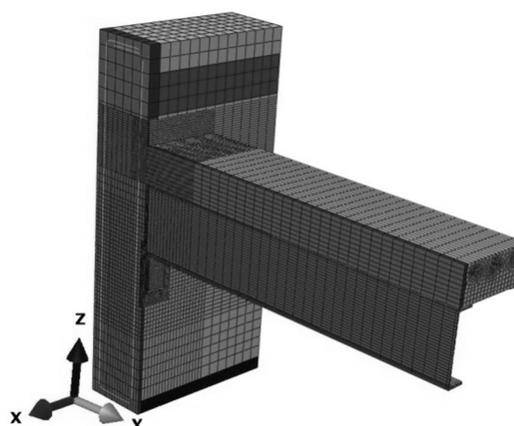


Fig. 11: Modelo numérico desenvolvido para reproduzir o comportamento da ligação entre viga mista e parede de betão armado

5.3 Modelo analítico e comparação de resultados

Tendo em vista a extensão do método das componentes para avaliação das propriedades da ligação em estudo, idealizou-se o modelo de molas que se apresenta na Fig. 12. Nos ensaios experimentais observou-se que a armadura longitudinal da laje é a componente que governa o comportamento desta ligação. Assim, torna-se crucial a precisão do modelo utilizado para esta componente. Para obtenção da curva força-deslocamento da componente, necessária à implementação do método, utilizaram-se dois modelos: i) modelo designado por “ECCS” e que consiste no modelo proposto em [13] para caracterização da componente em ligações mistas; ii) o segundo modelo, designado por “EC4”, é um modelo simplificado e que é prescrito pela EN 1994-1 [4] para o mesmo tipo de ligações. As curvas força-deslocamento representativas da aplicação destes modelos são ilustradas na Fig. 13. As notações apresentadas têm a seguinte

significação: F_{sr1} - força na armadura antes de início de fissuração do betão; F_{srn} - força na armadura com a formação da última fissura no betão; F_{sry} - força na armadura no início de cedência da mesma; F_{sru} - força na armadura para tensão última da armadura; Δ_{sry} - deformação da armadura no início da cedência; Δ_{sru} - deformação da armadura quando atingida a tensão última. Detalhe sobre estes modelos, e os modelos de todas as componentes listadas na Tabela 1, é apresentado em [6].

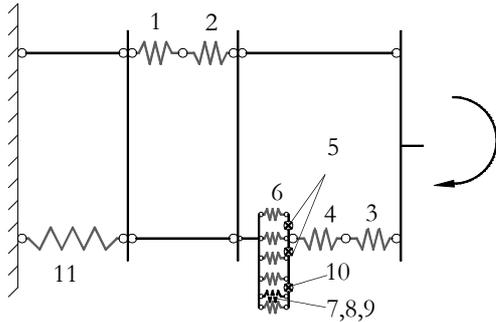


Fig. 12: Modelo de molas representativo da ligação entre viga mista e parede de betão armado

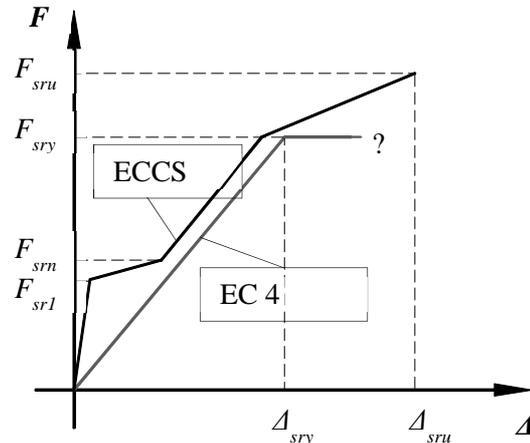


Fig. 13: Curvas força-deslocamento representativas dos modelos usados para caracterizar a componente 1

Após a caracterização de todas as componentes envolvidas na ligação, é necessário realizar a assemblagem do modelo e determinar a curva momento-rotação. Uma vez que se identifica apenas uma linha de componentes à tracção e uma linha de componentes à compressão, o processo torna-se simples, não sendo necessário realizar a distribuição de forças entre linha de componentes ou ter em conta efeitos de grupo. A metodologia aplicada é similar à utilizada na determinação das propriedades de ligações metálicas ou mistas [10]. O resultado desta aplicação é apresentado na Fig. 14 onde se compara o resultado experimental, para um dos provetes ensaiados, com os resultados dos modelos analíticos e numéricos. Observa-se uma boa aproximação entre as diferentes metodologias ao longo de todo o comportamento da ligação. Note-se que em todas, a armadura longitudinal é confirmada como a componente que governa o comportamento da ligação. Na Tabela 4, apresenta-se uma quantificação da aproximação obtida em termos de rigidez inicial ($S_{j,ini}$), momento flector máximo ($M_{j,max}$) e rotação última ($\Phi_{j,u}$).

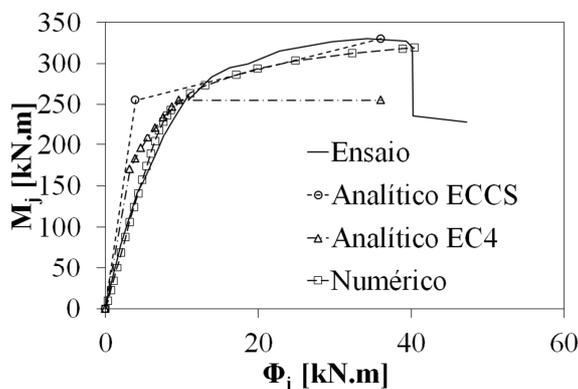


Fig. 14: Comparação das curvas momento-rotação obtidas pela via experimental, numérica e analítica

Tabela 4: Rácio entre modelos e ensaios experimentais

Modelo	$S_{j,ini}$	$M_{j,max}$	$\Phi_{j,u}$
An. "ECCS"	1,91	1,00	0,90
An. "EC4"	1,56	0,77	-
Numérico	0,97	0,97	1,00

6. Conclusões

No presente artigo é feita uma abordagem às ligações estruturais aço-betão utilizando uma nova configuração desenvolvida no projecto de investigação RFCS “InFaSo” [5] para uma ligação entre viga mista e parede de betão armado. Tendo em conta a extensão do tema, no presente artigo apresenta-se apenas um sumário dos principais desenvolvimentos que se encontram detalhados na literatura [5], [6]. Tendo em vista a extensão do método das componentes a este tipo de ligação, ensaios experimentais, modelos numéricos e analíticos são apresentados para caracterizar componentes, partes da ligação e ligação completa. A comparação de resultados mostrou que modelos numéricos e analíticos fazem uma boa aproximação dos resultados experimentais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Comissão Europeia através do Research Fund for Coal and Steel (RFCS) através do projecto de investigação N° RFSR-CT-2007- 00051.

Referências

- [1] Stahlbau Magazine, 68(8), Ernst &Sohn, Berlin, 1999.
- [2] European Committee for Standardization – CEN. EN 1992-1-1. “Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings”, Brussels, 2004.
- [3] European Committee for Standardization – CEN. EN 1993-1-1. “Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings”, Brussels, 2005.
- [4] European Committee for Standardization – CEN. EN 1994-1-1. “Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings”, Brussels, 2004.
- [5] Kuhlmann K, Hofman J, Wald F, da Silva L, KrimpmannM,Sauerborn N *et al.* “New market chances for steel structures by innovative fastening solutions between steel and concrete (INFASO)” *Final report, Report EUR 25100 EN*, European Commission, 2012.
- [6] Henriques J. “Behaviour of Joints: simple and efficient steel-to-concrete joints”, *PhD Thesis*, Coimbra, 2013.
- [7] Abaqus 6.11. *Theory Manual and Users Manuals*, DassaultSystèmesSimulia Corp., 2011.
- [8] Henriques J, Simões da Silva L, Valent, I. “Numerical modeling of composite beam to reinforced concrete wall joints Part I: Calibration of joint components”, *Engineering Structures*, 52, pp. 747-761, 2013.
- [9] Guisse S, Vandegans D, Jaspert J-P. “Application of the component method to column bases: Experimentation and development of a mechanical model for characterization”, Research Centre of the Belgian Metalworking Industry, MT195, Liège, 1996.
- [10] European Committee for Standardization – CEN. EN 1993-1-8. “Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-8: Design of joints”, Brussels, 2005.
- [11] Schlaich J, Schäfer K, Jennewein M. “Toward a Consistent Design of Structural Concrete”, *PCI Journal*, 32(3), pp. 74-150, 1987.
- [12] Henriques J, Simões da Silva L, Valent I. “Numerical modeling of composite beam to reinforced concrete wall joints Part II: Global behavior”, *Engineering Structures*, 52, pp. 734-746, 2013.
- [13] European Convention for Constructional Steelwork – ECCS. Design of Composite Joints for Buildings. ECCS Publication n°109, Technical Committee 11, Composite Structures, First Edition, Belgium, 1999.