

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE T-STUBS SUJEITOS A AÇÕES DE IMPACTO

Experimental analysis of a T-stub component subjected to impact loading

Barata, P. ¹; Santiago, A. ¹; Rigueiro, M.C. ²; Rodrigues, J. P. ¹

¹ ISISE, Departamento de Eng.^a Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

² ISISE, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco



RESUMO

Neste artigo apresenta-se um programa experimental em T-stubs sujeitos a cargas de impacto. O modelo do T-stub é utilizado para a avaliar o comportamento das componentes, existentes na zona tracionada da ligação, sendo estas as que mais contribuem para a ductilidade das ligações. As principais variáveis aqui estudadas são a espessura do banzo do T-stub (10 e 15 mm) e a intensidade da carga de impacto. Os resultados dos ensaios dos T-stubs, quando sujeitos a cargas de impacto, evidenciam um aumento da resistência plástica e uma diminuição da deformação do T-stub quando comparados com os dos ensaios quase estáticos.

ABSTRACT

In this paper is presented the results of an experimental program in T-stubs subjected to impact loading. The T-stub is used to evaluate the behaviour of the tensile components that are responsible for the deformability of the connection, such as the end plate in bending. The key variables of this study are the thickness of the T-stub flange (10 and 15 mm) and the impact load rate. The impact tests results show an increase of the resistance and a decrease of the plastic deformation of the T-stub when compared against the reference tests.

1- INTRODUÇÃO

Após os ataques terroristas do último milénio: World Trade Center (2001), Londres (2005) e Madrid (2004), foi dada especial atenção ao estudo e análise da robustez de estruturas quando sujeitas a cenários de acidente. O colapso do World Trade Center evidenciou a importância do dimensionamento e configuração das ligações em estruturas: muitas das ligações viga-pilar foram incapazes de resistir à ação

do fogo após o impacto dos aviões, apresentando modos de rotura frágeis.

Relativamente ao comportamento das ligações metálicas em regime monotónico e cíclico, a bibliografia já apresenta vários estudos, como sejam Zoetemeijer (Zoetemeijer, 1974), Jaspert (Jaspert, 1991) e Faella (Faella *et al.*, 1998), que contribuíram para o desenvolvimento e atualização das normas de dimensionamento vigentes, como por exemplo o Eurocódigo 3 parte 1-8 (Eurocode 3 part 1-8, 2005). Porém, ainda existe pouca informação sobre o

comportamento de ligações sujeitas a cargas de impacto (Impactfire, 2011).

Neste artigo são apresentados os resultados de uma campanha experimental de T-stubs soldados sujeitos a cargas de impacto. Os resultados são comparados com os obtidos em provetes similares quando sujeitos a carregamento quase estático. Para a realização dos ensaios foi desenvolvido um sistema para a aplicação do carregamento (Barata *et al.*, 2013). O T-stub é um modelo mecânico utilizado pelo Eurocódigo 3 parte 1-8 (Eurocode 3 part 1-8, 2005) para avaliar o comportamento das componentes, definidas na zona tracionada da ligação (ex. a placa de extremidade em flexão, Fig. 1), sendo estas as que mais contribuem para a ductilidade da ligação devido à grande deformabilidade que apresentam. Com estes ensaios pretende-se determinar o comportamento dos T-stubs, quando sujeitos a cargas de impacto, nomeadamente resistência, rigidez, capacidade de deformação e modos de rotura.

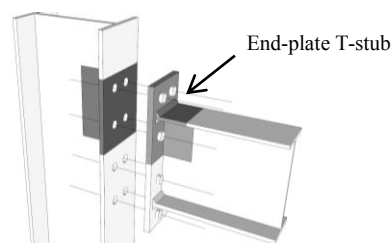


Fig. 1 – Localização do T-stub na ligação.

2- SISTEMA DE ENSAIO EXPERIMENTAL PARA APLICAÇÃO DE CARGAS DE IMPACTO

2.1 - Programa experimental

A geometria do T-stub é definida por duas chapas soldadas, o banzo e a alma unidos ortogonalmente através de um cordão de solda a_w , Fig. 2. O T-stub é aparafusado no banzo a um elemento de reação por meio de dois parafusos M20 da classe 8.8 totalmente roscados. Os banzos têm espessuras (t_f) de 10 e 15 mm (Tabela 1). O carregamento é aplicado na alma do T-stub.

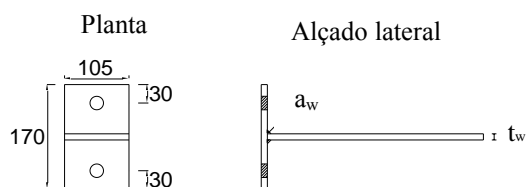


Fig. 2– Geometria do T-stub ensaiado.

Tabela 1 - Programa experimental.

Tipo de teste	ID	Esquema de carga		
Quase estático	T-10-20#1; T-10-20#2	Monotónico		
	T-15-20#1; T-15-20#1	Monotónico		
		Impacto #1	Impacto #2	Impacto #3
Impacto	T-10-D120-160	12 MPa	16 MPa	-
Impacto	T-10-D160	16 MPa	-	-
Impacto	T-15-D185-200-240 #1	18.5 MPa	20 MPa	24 MPa
Impacto	T-15-D185-200-240 #2	18.5 MPa	20 MPa	24 MPa
Impacto	T-15-D185	18.5 MPa	-	-
Impacto	T-15-D240	24 MPa	-	-

Na coluna ID, o primeiro item é a referência da ligação: T – de T-stub; o segundo representa a espessura da chapa do banzo: 10 e 15 mm; e o terceiro item representa o tipo de teste: 20 – quase estático; D120-160 – impacto sequencial: 12 MPa, seguido de 16 MPa; D160 – impacto a 16 MPa; D185-200-240 - impacto sequencial: 18.5 MPa, seguido de 20 MPa e de 24 MPa; D185 – teste de impacto a 18.5 MPa; D240 – teste de impacto a 24 MPa.

A campanha experimental inclui testes de impacto único e testes de impacto sequenciais. O impacto único permite avaliar a resistência do T-stub quando sujeito a um carregamento de impacto que conduz à sua rotura; o impacto sequencial permite medir a rigidez do T-stub durante as descargas entre os ensaios e aferir a pressão a aplicar nos ensaios de impacto único.

2.2 - Sistema de ensaio

O sistema de ensaio utilizado para aplicação de cargas de impacto foi desenvolvido e construído na Universidade de Coimbra. O sistema permite realizar ensaios em ligações em flexão e ensaios em componentes sujeitas a tração. O sistema experimental é apresentado na Fig. 3; é constituído por uma estrutura de reação e pelo sistema de aplicação de carga de impacto (conjunto válvula - cilindro pneumático). A estrutura de reação foi dimensionada de acordo com as normas em vigor (Eurocode 3 part 1-8, 2005 e Eurocode 3 part 1-1, 2006), de forma atingir a resistência e rigidez necessárias para os ensaios. A estrutura é constituída por duas vigas HEB500 colocadas longitudinalmente e ancoradas à laje de reação do laboratório; ortogonalmente às vigas HEB500 estão

aparafusadas uma viga HEB 650 e uma outra viga definida por dois perfis IPE450. Todos os perfis são em aço da classe S355. O sistema de aplicação de impacto está fixo na viga definida por dois perfis IPE450 e a carga é aplicada numa das extremidades de uma “viga rígida” HEB340. Esta viga HEB340 roda em torno de um pivot, tracionando o provete que se localiza a meia distância entre o cilindro e o ponto de rotação (pivot).

O cilindro pneumático é constituído por um tubo cilíndrico, de aço retificado no interior, com um diâmetro de 125 mm e com um curso máximo de 800 mm. O cilindro pode operar a uma pressão máxima de 30 MPa e pode aplicar uma força máxima de aproximadamente 360 kN num intervalo de tempo inferior a um segundo. A haste do cilindro, que se encontra ligada ao pistão móvel no interior do cilindro, permite a transmissão da força quando sujeita a uma pressão. O pistão é constituído por um disco onde se encontra o conjunto guia-vedantes, Fig. 4a). A entrada do ar comprimido ocorre numa das extremidades do cilindro, na outra extremidade, é realizado o apoio da haste, Fig. 4b). Para a medição da força aplicada em cada impacto, existe uma célula de carga entre a extremidade da haste e a “viga rígida”, Fig. 4c).

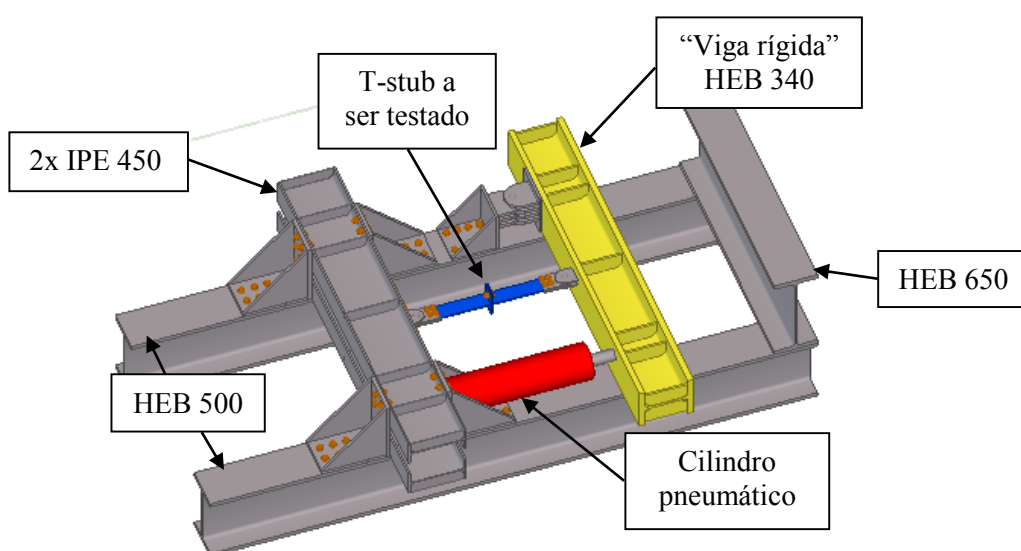


Fig. 3 – Sistema experimental para testes de impacto.

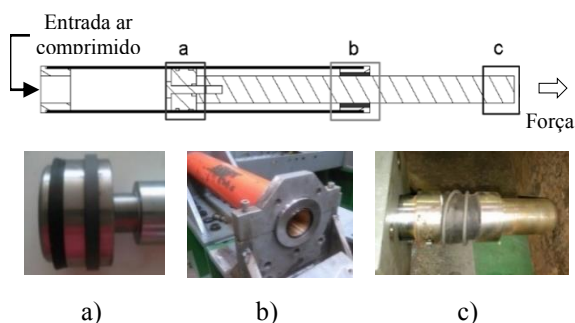


Fig. 4 – Vista em corte do cilindro: a) pistão e vedantes; b) guia; c) célula de carga.

A válvula de abertura rápida, existente entre o acumulador de pressão e o cilindro, é acionada hidráulicamente e permite que o ar comprimido circule rapidamente do reservatório para o cilindro pneumático. Na Fig. 5 encontra-se representada uma vista em corte desta válvula na posição fechada (Fig. 5a) e aberta (Fig. 5b).

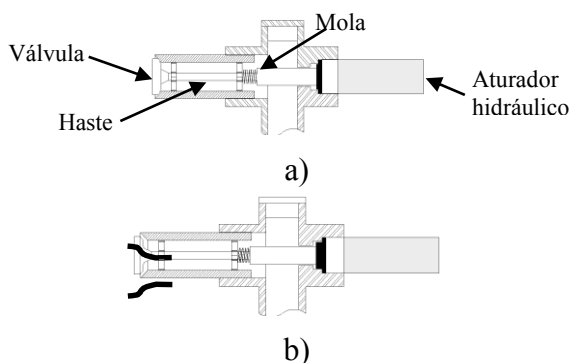


Fig. 5 – Vista em corte da válvula de abertura rápida: a) fechada; b) aberta.

2.3 - Procedimento de ensaio

A carga de impacto é aplicada na “viga rígida” através do sistema descrito no

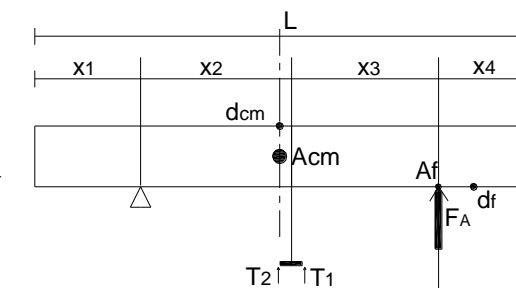
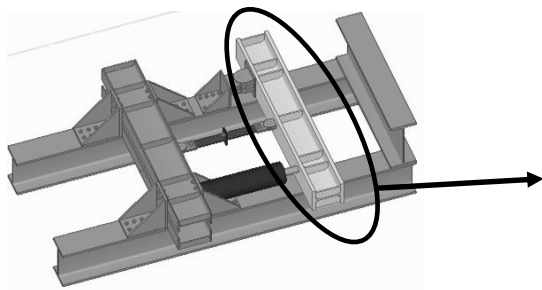


Fig. 6– Localização da instrumentação.

ponto 2.2. Antes da aplicação da carga a haste do cilindro encontra-se em contacto com a “viga rígida”. Inicialmente o reservatório de alta pressão é cheio com uma pressão pré-definida de acordo com a geometria a testar, de seguida a válvula de abertura rápida é aberta e o ar sob pressão flui rapidamente do reservatório para o cilindro pneumático que aplica a força na “viga rígida”. A carga aplicada e o tempo de aplicação dependem principalmente da pressão inicial e do caudal do ar comprimido no reservatório para o cilindro.

2.4 - Sistema de aquisição de dados

Durante os ensaios são medidos os deslocamentos, acelerações, extensões e força aplicada; a localização da instrumentação é apresentada na Fig. 6. Como o impacto ocorre num intervalo de tempo muito reduzido (centésimos de segundo), utiliza-se um sistema de aquisição de dados com uma boa relação sinal-ruído para taxas de amostragem elevadas: NI Compact DAQ da National Instruments.

Para medir as acelerações utiliza-se uma placa IEPE de 24 bit com 4 canais; para as extensões utiliza-se uma placa de 24 bits com 4 canais de ponte completa, meia ponte ou quarto de ponte e para os deslocamentos uma placa de entrada de corrente analógica de 16 bits com 8 canais. Os diversos sinais obtidos são processados e gravados num programa “*virtual instruments*” em ambiente labview (King, 2013).

3- EFEITOS DE INÉRCIA NO SISTEMA

3.1 - Equilíbrio dinâmico

O esquema de aplicação força-rotação é apresentado na Fig. 7; pode-se observar que a força é transmitida ao provete através da “viga rígida”. Esta “viga rígida” constitui uma alavanca do tipo inter-resistente em que o ponto de rotação está localizado no ponto (1). A força é aplicada pelo cilindro no ponto (2) e transmitida ao provete no ponto (3).

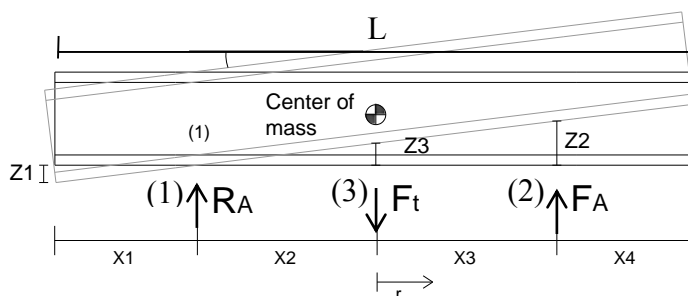


Fig. 7 – Diagrama força-rotação.

$$\begin{cases} R_A = F_t - F_A \\ M_{R_A}^{(1)} = F_t \times X_2 + F_A \times (X_2 + X_3) \end{cases} \quad (1)$$

$$F_t(t) = F_A(t) - F_I(t) + R_A(t) \quad (2)$$

Onde: F_t – força transmitida ao provete [KN]; F_A – força aplicada pelo cilindro e medida na célula de carga [KN]; F_I – força de inércia [KN]; R_A – reação no centro de rotação [KN].

Nas Eqs. (3) e (4) são apresentadas as equações do equilíbrio de forças dinâmico para o sistema representado na Fig. 7.

$$\begin{aligned} F_t \times X_2 &= F_A \times (X_2(t) + X_3(t)) \\ &\quad - F_I \times x_{cm} \\ &\quad - M_I(t) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} F_t \times X_2 &= F_A \times (X_2(t) + X_3(t)) \\ &\quad - m \\ &\quad \times z_{cm}''(t) \times X_{cm} - I \times \ddot{\theta} \end{aligned} \quad (4)$$

Onde: $X_2(t)$ - distância X_2 durante o ensaio [m]; $X_3(t)$ - distância X_3 durante o ensaio [m]; F_I – força de inércia [KN]; X_{cm} – distância do centro de massa ao ponto de rotação [m]; M_I – momento de inércia de rotação em torno de um eixo, a uma distância d e paralelo ao centro de massa [KN.m]; z_{cm}'' – aceleração do centro de massa da "viga rígida" [m/s²]; I – inércia de

Em regime quase estático, o equilíbrio de forças do esquema referido é escrito através da Eq. (1). Porém, em regime dinâmico as equações estáticas não são mais válidas, uma vez que é necessário considerar as forças de inércia envolvidas no sistema; o cálculo detalhado dos efeitos da inércia é apresentado em Barata *et al.*, 2014. A Eq. (2) apresenta a equação genérica do equilíbrio de forças, incluindo estes efeitos de inércia do sistema.

rotação da “viga rígida” [kg.m²]; $\ddot{\theta}$ – aceleração rotacional da “viga rígida” no ponto (2) da Fig. 7 [m/s²].

3.2 - Exemplo de cálculo da força de inércia

Tal como referido anteriormente, a Eq. (4) é resolvida utilizando a força medida (F_A) e o cálculo das forças de inércia, que por sua vez são calculadas através das acelerações medidas no centro de massa (z_{cm}) e no ponto de aplicação da força (A_f). Como exemplo, a Fig. 8 apresenta o valor da aceleração A_f (não filtrada e filtrada) medida ao longo de um dos ensaios: T-10-D160. De modo a reduzir o ruído no sinal foi realizada uma filtragem do sinal através de um filtro passa-baixo, sendo as frequências escolhidas com base no espectro de potência. Este procedimento foi similar em todos os ensaios e permitiu calibrar a gama de frequências a filtrar.

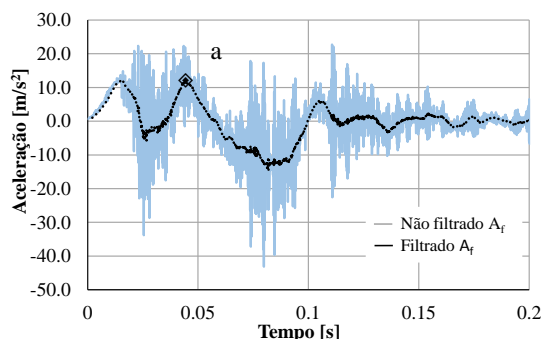


Fig. 8 - Aceleração A_f para o provete T-10-D160.

Após este procedimento, a Eq. (2) é resolvida, e calcula-se a força transmitida ao provete ao longo do tempo (F_t), já incluindo os efeitos de inércia, Fig. 9.

Durante os ensaios verificaram-se atrasos na medição do deslocamento e da força, resultado de dois efeitos: i) a existência de folgas residuais no sistema, e ii) utilização de módulos de aquisição de dados com diferentes taxas de amostragem e que incluem pequenos *delays* durante a aquisição de dados. Após testes de aferição considerou-se que a força é efetivamente transmitida ao provete após o segundo pico de aceleração (ponto *a* da Fig. 8); antes de se atingir este valor, a força aplicada ao sistema é utilizada para i) vencer a inércia do sistema e ii) eliminar as folgas do sistema. No caso do ensaio T-10-D160, o ponto *a* corresponde a 0.045 segundos, Fig. 8.

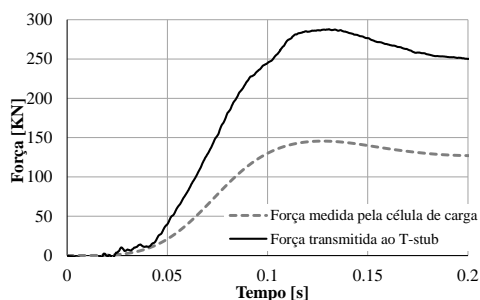


Fig. 9 - Força aplicada e força transmitida ao T-stub.

4- RESULTADOS DOS ENSAIOS

4.1 - Testes T-10

Nos provetes de 10 mm realizaram-se 2 ensaios de impacto: impacto sequencial de 12 MPa (impacto#1) seguido de 16 MPa (impacto#2) (T-10-D120-160) e impacto

único de 16 MPa (T-10-D160). Os resultados do ensaio sequencial são comparados com os obtidos nos ensaios quase estáticos na Fig. 10; após o impacto#1 observa-se a plastificação do banzo do T-stub ($F_{apl.} = 245$ kN e $\delta = 9$ mm). Na Fig. 11a) apresenta-se a respectiva deformação do provete. De seguida o provete é descarregado e aplica-se o impacto#2: observa-se uma redução da rigidez inicial e, apesar dos valores da força máxima serem semelhantes aos dos ensaios quase estáticos (T-10-20#1 e T-10-20#2), a deformação é agora de 16 mm, valor bastante inferior aos 30 mm alcançados nos testes quase estáticos. O ponto *a* da Fig. 10 identifica a resistência plástica calculada para este carregamento de impacto: 191 kN. Este valor corresponde a um aumento de 8% em relação ao valor que tinha sido calculado para os ensaios quase estáticos (ponto *a'* da Fig.10). Na Fig. 11b) apresenta-se o provete após ensaio; observa-se a plastificação completa do banzo do T-stub, mas como o nível de deformação é relativamente pequeno não ocorreu rotura nos parafusos.

Devido à irregularidade do troço inicial de carregamento, a rigidez do T-stub é determinada a partir da medição da deformação durante a descarga após o 1º impacto. Para este ensaio, mediu-se um valor da rigidez de 163 kN/mm, ligeiramente inferior ao obtido para os ensaios de referência quase estáticos, 192 kN/mm. Esta diferença pode ser resultado do efeito da plastificação e de algumas folgas existentes no sistema que podem induzir erro na leitura.

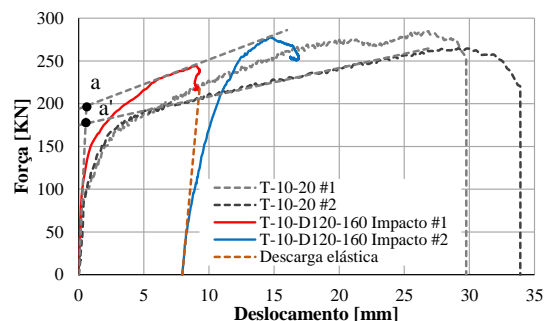
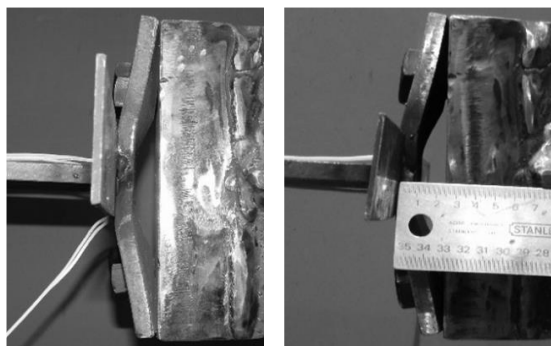


Fig. 10 - Curva força-deslocamento: comparação do Teste T-10-D120-160 com os resultados em regime quase estático.



a) b)

Fig. 11 - Provete após teste T-10-D120-160: a) após impacto #1; b) após impacto #2.

Na Fig. 12 compara-se a curva força-deslocamento para o ensaio T-10-D160 (impacto único) com a do ensaio sequencial atrás descrito (T-10-D120-160). Com base nos resultados foi calculada a resistência plástica de 192 KN (valor praticamente igual ao obtido no ensaio sequencial). Os valores de força máxima atingidos em ambos os ensaios são também semelhantes permitindo aferir o valor da pressão aplicada no ensaio de impacto único. Comparando os resultados obtidos pela aplicação do impacto único com a do impacto sequencial, verifica-se que o deslocamento obtido na rotura é inferior em cerca de 10%. Esta diferença poderá ser justificada pelo facto de no impacto sequencial existir um estado de tensão instalado, em que o provete apresenta algum grau de plastificação com deformações consideráveis. Por outro lado, o nível de “*strain rate*” existente nos elementos aquando da aplicação dos impactos único e sequencial é diferente, implicando diferentes níveis de extensões no banzo e no parafuso. No capítulo das conclusões são resumidos os valores mais relevantes obtidos durante os ensaios (Tabela 2).

A Fig. 13 compara a deformação do provete após ensaio quase estático, com o provete após ensaio de impacto. Nos ensaios quase estáticos observou-se a rotura dos parafusos após a plastificação dos banzos.

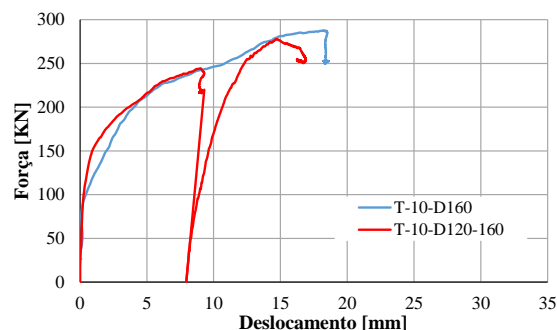
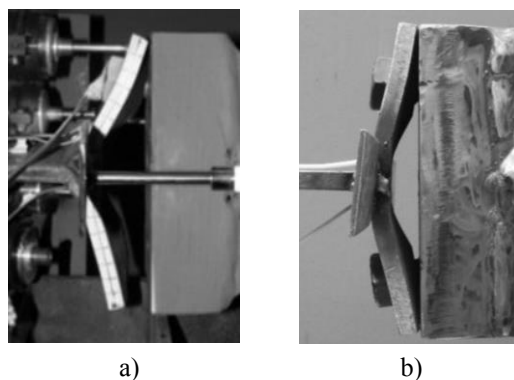


Fig. 12 - Curvas força-deslocamento: testes de impacto realizados nos provetes de 10 mm.



a) b)

Fig. 13 - Provete T-10 após teste: a) Ensaio quase estático; b) T-10-D160

4.2 - Testes T-15

Nos T-stubs de 15 mm realizaram-se 4 ensaios de impacto: dois testes de impacto sequencial de 18.5 MPa, 20 MPa e 24 MPa (T-15-D185-200-240#1 e T-15-D185-200-240#2), impacto único de 18.5 MPa (T-15-D185) e impacto único de 24 MPa (T-15-D240).

Os resultados do ensaio sequencial T-15-D185-200-240#1 são apresentados na Fig. 14, verifica-se que ocorre a plastificação do banzo após o impacto#1; a resistência plástica do T-stub é de 292 KN (aproximadamente igual à resistência plástica dos ensaios em regime quase estático) (ponto *b* da Fig. 14). A força máxima atingida durante este impacto é de 344 KN para um deslocamento de 7.85 mm. De seguida descarrega-se o provete e aplica-se o impacto#2; a força máxima atingida é de 351 KN para uma deformação de 9.31 mm. Ainda sem se observar a rotura dos parafusos é aplicado o impacto#3; o valor de força máxima é muito similar ao que foi observado no impacto#2: 352 KN (3%

superior ao valor da força máxima aplicada nos ensaios em regime quase estático), o T-stub rompe devido ao deslizamento das porcas na rosca de um dos parafusos: $\delta = 11.45$ mm (ponto *a*, Fig. 14 e Fig. 15), ainda inferior aos 12 mm observados num dos ensaios quase estáticos. Este comportamento é semelhante ao observado nos ensaios de impacto nos provetes T-10, ou seja, para valores de força máxima superiores verificam-se valores de deslocamentos inferiores aos observados nos ensaios quase estáticos.

No que se refere à rigidez inicial. O valor obtido para a primeira descarga é de 192 KN/mm; valor ligeiramente inferior ao do ensaio quase estático 245 KN/mm. Para segunda descarga este valor reduz para 169 KN/mm. Estas diferenças de rigidez devem-se ao efeito do aumento do grau de plastificação do banzo bem como à existência de folgas no sistema.

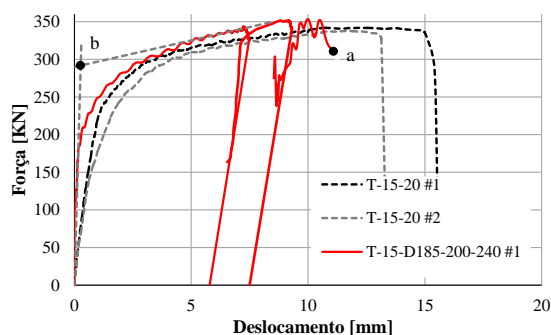


Fig. 14 - Curva força-deslocamento: comparação do teste T-15-D185-200-240#1 com os resultados em regime quase estático.

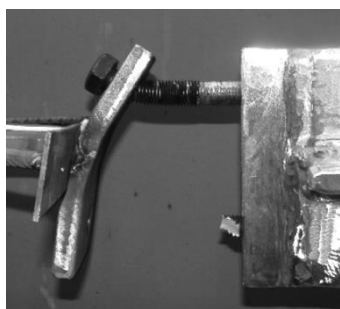


Fig. 15 - Provete T-15-D185-200-240#1 após impacto#3.

A Fig. 16 compara os resultados dos ensaios de impacto nos provetes de 15 mm. Os resultados dos testes sequenciais (T-15-D185-200-240#1 e T-15-D185-200-240#2)

são semelhantes, as diferenças que se verificam poderão dever-se às pequenas diferenças existentes na geometria dos provetes. Os resultados do ensaio T-15-D185 (impacto único) mostram uma força máxima aplicada de 351 KN para uma deformação de 7.6 mm, valores similares aos obtidos no impacto#1 (18.5 MPa) dos ensaios sequenciais.

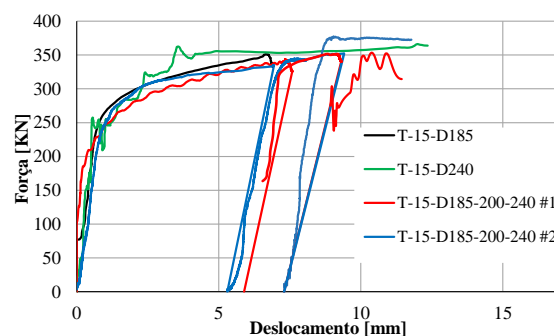


Fig. 16 - Curvas força-deslocamento: testes de impacto realizados nos provetes de 15 mm.

Durante o ensaio T-15-D240 (impacto único) a força máxima aplicada é de 366 KN (valor intermédio entre os obtidos nos dois ensaios sequenciais) e a deformação no ponto da força máxima é de 4.3 mm, valor semelhante ao obtido no impacto#3 (24 MPa) dos ensaios sequenciais. No final do ensaio verificou-se a rotura dos parafusos. Na Fig. 17 apresenta-se a comparação do provete após ensaio quase estático com os dos provetes após ensaios de impacto único (T-15-D185;T-15-D-240).

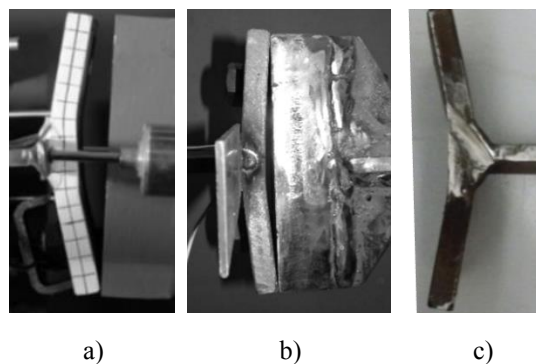


Fig. 17 - Provete após impacto: a) Ensaio quase estático; b) T-15-D185; c) T-15-D240.

5- CONCLUSÕES

Neste artigo são apresentados e discutidos os resultados de uma campanha experimental em T-stubs sujeitos a cargas de impacto. A campanha experimental inclui T-

stubs de espessuras distintas (10 mm e 15 mm) e forças de impacto diferentes. Na Tabela 2 apresenta-se o resumo dos valores da resistência plástica (F_{Rd}), força máxima aplicada (F_{apl}) e o deslocamento no ponto de força máxima (δ_u) para cada um dos ensaios.

Tabela 2 – Valores de resistência obtidos durante os ensaios.

Teste	Impacto #1				Impacto #2		Impacto #3		Modo de rotura
	F_{Rd} [KN]	DIF	F_{apl} [KN]	δ_u [mm]	F_{apl} [KN]	δ_u [mm]	F_{apl} [KN]	δ_u [mm]	
T-10-D120-160	191	1.09	245	9	278	16.55	-	-	(a)
T-10-D160	192	1.09	287	18.25	-	-	-	-	(b)
T-15-D185-200-240 #1	292	≈1	344	7.85	351	9.31	352	-	(c)
T-15-D185-200-240 #2	308	≈1	335	6.94	352	9.40	377	-	(c)
T-15-D185	300	≈1	351	7.6	-	-	-	-	(b)
T-15-D240	337	1.13	366	12.1	-	-	-	-	(a)

Onde: F_{Rd} – Resistência plástica; DIF – Dynamic Increase Factor; F_{apl} – Força máxima aplicada; δ_u – deslocamento na rotura ou no ponto de força máxima; (a) – Rotura nos parafusos; (b) Plastificação dos banzos; (c) deslizamento das porcas nos parafusos.

De um modo geral, os resultados mostram que a resistência plástica nos ensaios de impacto é ligeiramente superior à verificada nos ensaios quase estáticos. No que se refere à força máxima, ela é igual, ou ligeiramente superior, à observada nos ensaios quase estáticos mas é atingida para valores de deformação inferiores. Este aumento de resistência deve-se ao efeito de “*strain-rate*” desenvolvido durante a aplicação de cargas dinâmicas, que no caso dos provetes estudados conduziu a um DIF entre 1 e 1.13. O DIF próximo da unidade foi observado em alguns dos ensaios T-15, isso deveu-se ao facto da pressão utilizada nestes ensaios ser reduzida conduzindo a um reduzido “*strain rate*”.

Os ensaios sequenciais foram realizados para aferir os valores das pressões aplicadas e a rigidez inicial dos provetes. Concluiu-se que a rigidez inicial dos T-stubs quando sujeitos à ação de impacto é ligeiramente inferior à obtida dos ensaios de referência quase estáticos.

Comparando os resultados obtidos dos ensaios sequenciais com os dos impactos únicos, observa-se um aumento do valor da deformação na rotura para os ensaios de impacto único. Este resultado deve-se possivelmente a um conjunto de fatores que

ocorrem quando a aplicação de impactos sequenciais, nomeadamente: “*strain history*” existente no provete; “*strain rate*” instalado quando cada impacto; e o estado triaxial instalado no provete após os impactos pode sofrer alterações, conduzindo a que a rotura ocorra para diferentes níveis de extensões

6- AGRADECIMENTOS

Agradece-se o apoio financeiro concedido pelo Ministério da Educação e da Ciência (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) através do projeto PTDC/ECM/110807 2009.

7- REFERÊNCIAS

- Barata, P., Santiago, A. and Rodrigues, J. P.. 2013. Experimental behaviour of t-stub joint component at elevated temperatures. 2nd CILASCI, Coimbra, Portugal, pp. 345-354.
- Barata, P., Santiago, A., Rodrigues, J.P. and Rigueiro, C., 2014, Development of an Experimental System to Apply High Rates of Loading, Proceedings XIV Portuguese Conference on Fracture, Régua, Portugal, pp. 123-130.
- Eurocode 3 part 1-1. 2006. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules

for buildings, Brussels: European Committee for Standardization.

Eurocode 3 part 1-8. 2005. Design of steel structures: Design of joints. Brussels: European Committee for Standardization.

Faella, C., Piluso, V. and Rizzano, G., 1998, Cyclic Behaviour of Bolted Joint Components, Journal of Constructional Steel Research, Vol. 46, pp. 433–434.

IMPACTFIRE. 2011. Midterm report, Project PTDC/ECM/110807/2009.

Jaspart, J.P., 1991, Etude de la semi-rigidite des noeuds poutre-colonne et son influence sur la resistance et la stabilite des ossatures en acier, Ph.D. thesis at University of Liège.

King, R. H., 2013, Introduction to data acquisition with LabVIEW, McGraw-Hill.

Zoetemeijer P., A design method for the tension side of statically loaded bolted beam-to-column connections, Heron, vol.20, 1974, p.1-59.