



ANÁLISE EXPERIMENTAL E ANALÍTICA DE CHAPAS METÁLICAS ENFORMADAS A FRIO PARA COBERTURAS E FACHADAS

Ana A. Martins^a, Isabel B. Valente^{b,*}, Alexandra Feliz^c e José M. Silva^d

^{a,b}*ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho*
^{c,d}*O Feliz, Metalomecânica, S.A.*

* Autor para contacto. Tel.: +351 253 510 203; Fax: +351 253 510 217;

E-mail: isabelv@civil.uminho.pt

Resumo. Nesta comunicação apresenta-se um estudo desenvolvido para analisar o comportamento de chapas metálicas enformadas a frio com secção trapezoidal destinadas à utilização em coberturas e fachadas. Este estudo tem uma vertente analítica e uma vertente experimental. Numa primeira fase, procura-se analisar as características e a capacidade resistente de várias chapas metálicas trapezoidais e desenvolver uma análise paramétrica de forma a identificar quais os parâmetros geométricos mais relevantes no seu comportamento. Numa segunda fase, realizam-se ensaios experimentais sobre provetes executados a partir de dois modelos de chapas trapezoidais fornecidos pela firma *O Feliz, Metalomecânica, S.A.* e analisam-se os resultados obtidos.

1. Introdução

A utilização na construção de secções metálicas enformadas a frio tem vindo a crescer. Em particular, destacam-se as chapas metálicas de secção trapezoidal, que pelas suas qualidades de leveza, elevada resistência e rigidez, facilidade de produção e possibilidade de pré-fabricação em grande escala, são muito utilizadas no revestimento de fachadas e coberturas de edifícios.

O processo de enformação a frio de secções permite obter secções com nervuras inclinadas e diferentes tipos de reforços intermédios ou de extremidade [1]. A secção transversal da chapa perfilada pode ser ondulada ou trapezoidal, sendo variável a sua altura, o afastamento entre nervuras consecutivas, a espessura, as larguras dos banzos e podendo ou não levar reforços.

Neste artigo, pretende-se analisar o comportamento de chapas metálicas enformadas a frio com secção trapezoidal, por via analítica e por via experimental.

Numa primeira fase, procura-se analisar as características e a capacidade resistente de chapas metálicas trapezoidais de forma a identificar quais os parâmetros geométricos mais relevantes

no seu comportamento e quais as características que tornam estas tipologias tão competitivas a nível europeu. Tendo por base os objetivos referidos, desenvolve-se uma ferramenta de cálculo que permite avaliar os seguintes parâmetros: momento fletor resistente (positivo e negativo), esforço transversal resistente, esforço resistente sob forças transversais localizadas, momento de inércia efetivo. Com base na ferramenta de cálculo desenvolvida, é realizada uma análise paramétrica onde se procura variar a espessura da chapa, a altura das nervuras, a largura do banzo comprimido, a largura do banzo traccionado, a inclusão de nervuras de reforço nos banzos e a inclusão de reforço longitudinal nas almas.

Numa segunda fase, realizam-se ensaios experimentais sobre provetes executados a partir de dois modelos de chapa trapezoidal fornecidos pela firma *O Feliz, Metalomecânica, S.A.* e analisam-se os resultados obtidos. Os modelos referidos diferem entre si pela presença de reforço no banzo largo e nas condições de aplicação do carregamento. Os resultados dos ensaios são comparados com resultados analíticos obtidos através da utilização da ferramenta de cálculo desenvolvida no âmbito da análise paramétrica.

2. Ferramenta de cálculo

A ferramenta escolhida para a avaliação da capacidade resistente das chapas em estudo foi desenvolvida com base no Microsoft Office Excel, a partir das disposições e recomendações que estão definidas na norma EN1993-1-3 [2]. Ela permite, através da introdução de parâmetros geométricos e parâmetros relativos ao tipo de aço, vãos e condições de apoio, calcular a capacidade resistente à flexão e ao corte de modelos de chapas metálicas trapezoidais com reforço nos banzos superior e inferior.

Todo o cálculo é realizado com base no conceito de secção efetiva. Segundo Silvestre e Camotim (2006) [3], a determinação de uma secção efetiva baseia-se no conceito de instabilidade local. As secções de aço enformadas a frio são geralmente reforçadas, apresentando frequentemente “reforços de extremidade” e/ou “reforços intermédios”. A adição de reforços induz o aparecimento de instabilidades do tipo distorcional. A reduzida espessura das chapas de aço com que são fabricadas as secções enformadas a frio, conduz a paredes com elevadas esbeltezas e a barras muito suscetíveis de sofrer encurvadura local.

A ferramenta de cálculo considera as seguintes condições: admite-se uma distribuição elástica das tensões na secção transversal, considera-se que na fibra mais esforçada, a tensão máxima instalada é igual à tensão de cedência do material utilizado, a tensão instalada na fibra mais esforçada pode ser de compressão ou de tração, dependendo da geometria em análise, as chapas utilizadas são de espessura muito reduzida, pelo que é necessário considerar a hipótese de ocorrência de fenómenos de instabilidade local nas zonas comprimidas da secção, a ocorrência de instabilidade local resulta em considerar uma redução de secção nas zonas comprimidas da secção transversal, as zonas de aresta arredondada não são contabilizadas no cálculo das larguras eficazes, as zonas de aresta arredondada são contabilizadas no cálculo da capacidade resistente da secção transversal.

De forma a realizar as verificações de segurança é necessário introduzir as características do aço utilizado na ferramenta de cálculo: módulo de elasticidade (E); tensão de cedência (f_y) e tensão última (f_u).

Assim, obtêm-se o momento fletor resistente positivo; o momento fletor resistente negativo; o esforço transversal resistente; a resistência a forças transversais localizadas e a deformada máxima, calculada em função de uma inércia efectiva e das condições de apoio.

A ferramenta de cálculo é desenvolvida de forma a poder calcular a resistência aos esforços referidos para os seguintes tipos de chapa trapezoidal: com banzos e almas planos; com reforços (nervuras) nos dois banzos do perfil ou apenas em um deles; com reforços na alma

(até um máximo de dois); com reforços (nervuras) nos dois banzos e reforços na alma (até um máximo de dois). Deste modo, no mais complexo dos casos, podem ser estudadas chapas com uma nervura em cada banzo e dois reforços longitudinais na alma.

Pretende-se avaliar a forma como cada parâmetro, individualmente, condiciona a capacidade resistente da chapa metálica. A partir da geometria base de uma chapa existente no mercado, procura-se modificar os parâmetros mais relevantes, de forma a estabelecer o seu nível de importância no funcionamento global da chapa e identificar geometrias otimizadas.

3. Factores que influenciam o comportamento de chapas metálicas trapezoidais

As chapas metálicas enformadas a frio são essencialmente caracterizadas por: grande variedade de perfis transversais, espessura constante da secção e relação relativamente alta entre a largura e a espessura dos elementos que compõem a secção transversal. Esta última característica, em particular, dá origem a fenómenos de encurvadura local, que comprometem a capacidade de carga da chapa. Há ainda que considerar as imperfeições estruturais causadas pelo processo de laminação a frio.

Os principais fatores que influenciam o comportamento estrutural de secções de paredes finas são: a encurvadura local dos elementos em compressão; a interação entre formas de encurvadura local e global; os efeitos de ondulação; os efeitos resultantes do processo de laminação.

Para além destes, os elementos enformados a frio apresentam geralmente secções transversais abertas e de parede fina, onde a instabilidade por flexão-torção pode ser o fenómeno crítico que influencia o comportamento global do elemento [4].

De acordo com Veríssimo [5], o comportamento estrutural dos perfis de aço enformados a frio é bastante complexo e suscetível de: a) instabilidades de natureza local e/ou global; b) elevada deformabilidade à torção; c) empenamento; d) necessidade de existência de reforços (de extremidade e/ou intermédios); e) endurecimento do aço e f) colapso da alma (“web crippling”) nas secções onde estão aplicadas forças concentradas ou nas zonas dos apoios, fenómeno que se deve à elevada esbelteza das paredes que constituem as almas.

As secções de aço enformadas a frio são geralmente reforçadas, apresentando frequentemente reforços de extremidade e/ou reforços intermédios. A adição de reforços induz o aparecimento de instabilidades do tipo distorcional.

3.1 Perfil base

O modelo P4-0-272-30, produzido pela empresa *O Feliz, Metalomecânica, S.A*, cujas dimensões se encontram representadas na Figura 1, serve de base ao estudo paramétrico que se apresenta a seguir.



Fig.1: Perfil transversal da chapa de referência no estudo P4-0-272-30, dimensões em mm.

Para além das dimensões evidenciadas na Figura 1, o perfil base apresenta 0.7 mm de espessura, 5 mm de raio de concordância nas zonas de dobragem e aço da classe S280.

No que respeita à capacidade resistente da chapa obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 1: os momentos flectores resistentes, M_{Rd+} e M_{Rd-} (positivo e negativo, respetivamente), o esforço transversal resistente, $V_{b,Rd}$, e o esforço resistente sob forças transversais localizadas, $R_{w,Rd}$. No cálculo dos valores apresentados na Tabela 1, não são considerados possíveis efeitos de *shear lag*, pois estes dependem do vão que for definido.

Tabela 1: Capacidade resistente da chapa trapezoidal P4-0-272-30. Estados Limite Últimos.

M_{Rd+}	M_{Rd-}	Eficácia banzo superior comprimido	Eficácia banzo inferior comprimido	$V_{b,Rd}$	Eficácia da alma	$R_{w,Rd}$
(kNm/m)	(kNm/m)	(%)	(%)	(kN/m)	total	(kN/m)
0.99	0.89	86.37	17.61	28.45		12.55

3.2 Influência da espessura da chapa e da largura dos banzos

De modo a analisar a influência da espessura da chapa no comportamento dos banzos superior e inferior, todos os restantes parâmetros geométricos são fixos. Considera-se que a chapa pode estar a sujeita a momento fletor atuante positivo ou negativo, pelo que ambos os banzos podem ficar comprimidos. O intervalo de valores que delimita o estudo paramétrico relativo às dimensões dos dois banzos da chapa apresenta como limite mínimo uma largura que não comprometa o bom escoamento das águas pluviais. Assim, a presente análise inicia-se nos 30 mm de largura. A largura máxima de 187.5 mm é igual à do perfil-tipo. Assume-se que ambos os banzos apresentam a mesma largura.

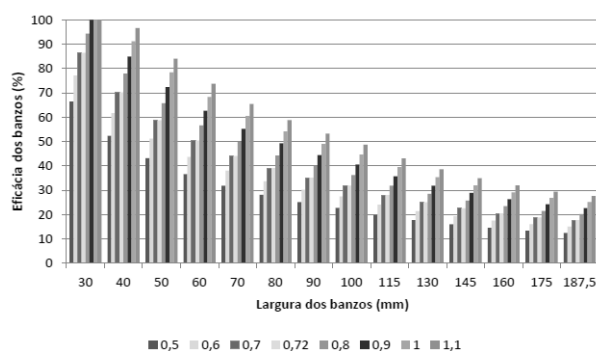


Fig. 2: Influência da espessura da chapa e da largura dos banzos na eficácia dos mesmos

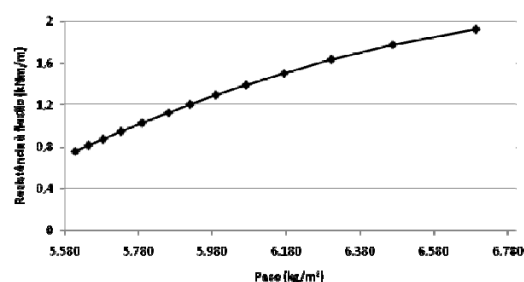


Fig. 3: Relação entre área total da secção e resistência à flexão da chapa

A eficácia dos banzos mede-se através da relação entre as suas larguras efetiva e total. Observando a Figura 2, verifica-se que a eficácia dos banzos aumenta com a diminuição da largura dos mesmos e também com o aumento da espessura da chapa. Para a mesma espessura da chapa metálica pode obter-se um incremento de cerca de 40% de eficácia quando a largura dos banzos sofre uma diminuição de 187.5 para 50 mm. Variando a espessura, observa-se que o incremento de eficácia é de cerca de 40% para larguras iguais ou inferiores a 60 mm e que este incremento vai diminuindo com o aumento da largura do banzo.

Tanto a diminuição da largura dos banzos como o aumento da espessura da chapa fazem com que o peso da chapa trapezoidal por unidade de área aumente. Na Figura 3 fica patente que este aumento de peso é acompanhado de um aumento progressivamente menos eficaz da resistência à flexão.

3.3. Influência da colocação de 1 reforço nos banzos

A inserção de um reforço longitudinal possibilita o aumento da largura do banzo sem comprometer a sua capacidade resistente à flexão, uma vez que a introdução do novo elemento no banzo aumenta a zona eficaz do banzo, incrementando a inércia total da secção. De forma a analisar a influência da largura, b_r , (ver Figura 4.b) de uma nervura de forma triangular inclinada a 45° com a horizontal, inserida nos banzos planos da chapa trapezoidal, elaborou-se a análise comparativa de cinco situações distintas: a inserção de nervuras com larguras, respetivamente, de 12, 16, 20, 24 e 30 mm (ver Figura 4.c). Verifica-se que a inserção da nervura faz sempre aumentar a capacidade resistente da secção trapezoidal. No entanto, o aumento do tamanho da nervura acaba por ser relevante apenas quando a largura dos banzos é igual ou superior a 60 mm.

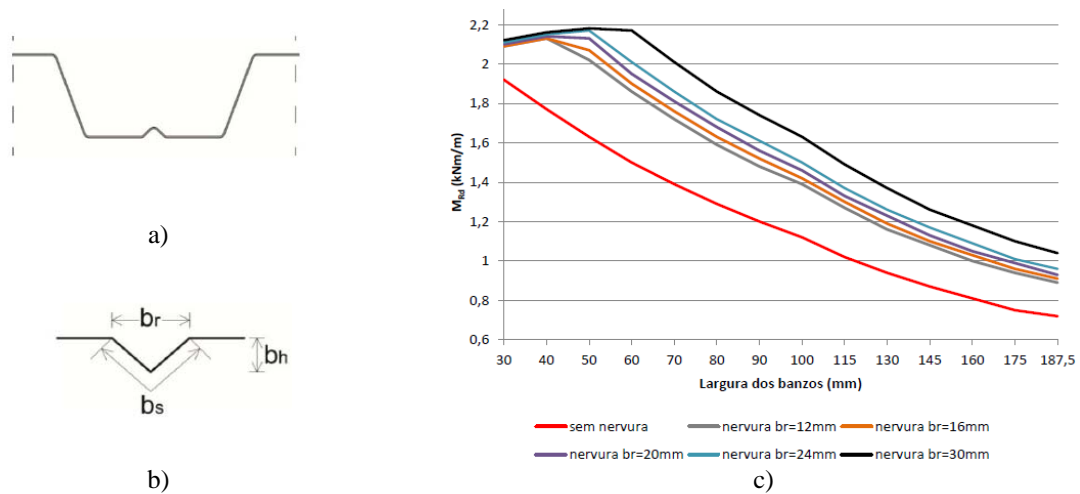


Fig. 4: a) Esquema do reforço longitudinal com forma triangular inserido no banzo inferior; b) dimensões a variáveis: comprimento da nervura - b_r , e desenvolvimento da nervura - b_s ; c) Influência da largura da nervura triangular na resistência à flexão da chapa.

Averigua-se igualmente a influência da altura do reforço na resistência à flexão da chapa. A Figura 5 mostra que a presença da nervura influencia a resistência à flexão da chapa, mas a altura da nervura influencia muito pouco essa mesma capacidade resistente.

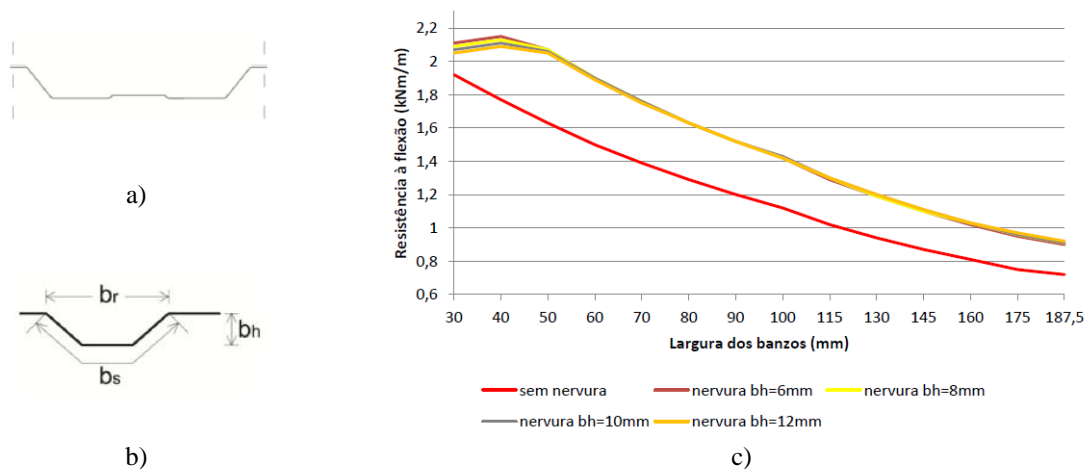


Fig. 5: a) Esquema do reforço longitudinal com forma trapezoidal inserido no banzo inferior; b) dimensões a variáveis: comprimento da nervura - b_r , e desenvolvimento da nervura - b_s ; c) Influência da altura da nervura trapezoidal na resistência à flexão da chapa

4. Avaliação experimental da resistência à flexão de chapas metálicas trapezoidais

4.1 Chapas trapezoidais ensaiadas

Foram escolhidos dois tipos de perfis com diferenças bem explícitas ao nível dos banzos, de forma a avaliar experimentalmente a influência da inclusão de nervuras de reforço. Os provetes para ensaio foram fornecidos pela empresa *O Feliz, Metalomecânica, S.A.*

As chapas dos modelos P4-0-272-30 e P4-1-272-30 (ver Figura 6) de geometria global idêntica, diferem apenas no facto de as segundas apresentarem um reforço longitudinal de 3 mm de profundidade e aproximadamente 66 mm de largura no banzo mais largo.

Cada chapa é ensaiada em duas posições diferentes, isto é, com o banzo largo tracionado (posição A) ou com o banzo largo comprimido (posição B), tal como representado na Figura 6 [6]. São testados 3 provetes idênticos para cada uma das configurações representadas.

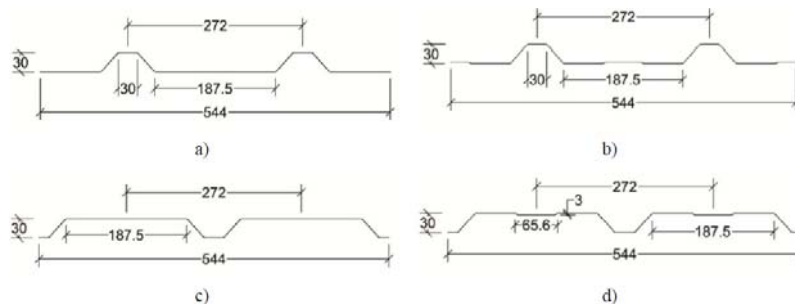


Fig. 6: a) modelo P4-0-30-272 - posição A; b) modelo P4-1-30-272 - posição A; c) modelo P4-0-30-272 - posição B; d) modelo P4-1-30-272 - posição B.

4.2 Determinação experimental das características do aço

Com vista a determinar a tensão de cedência do aço utilizado nos provetes ensaiados, realizou-se o ensaio de tração sobre os provetes com dimensões indicadas na Figura 7 [7]. O ensaio à tração decorre de acordo com a montagem representada na Figura 8, tendo sido controlado pelo deslocamento do atuador cuja velocidade foi de 2 mm/min. O valor médio, respeitante ao limite superior da tensão de cedência (f_y) será utilizado no cálculo do momento fletor máximo. A localização da zona de colapso e o modo de rotura associado confirmam a validade dos ensaios realizados (ver Figura 9).

As curvas de tensão-extensão obtidas nos quatro provetes testados mostram valores de tensão de cedência muito próximos entre si. O valor médio identificado respeitante ao limite superior da tensão de cedência (f_y) utilizado, é igual a 337.3 MPa.

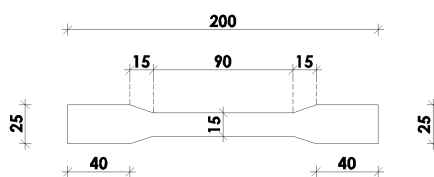


Fig. 7: Provetes de chapa para ensaio de tração (medidas em mm).



Fig. 8: Configuração do ensaio de tração



Fig. 9: Provetes testados após rotura

4.3 Preparação do ensaio

Todos os provetes foram submetidos a ensaio de flexão em 4 pontos. A preparação do ensaio, nomeadamente a disposição de todos os elementos necessários à sua realização, seguiu os pressupostos definidos na norma EN 1993-1-3 [2]. A Figura 10 representa a disposição e as medidas definidas para o vão, para os apoios e para os elementos que fazem a distribuição da carga aplicada pelo atuador. Pode ainda observar-se a posição dos transdutores que medem os deslocamentos resultantes da deformação vertical do provete [6].

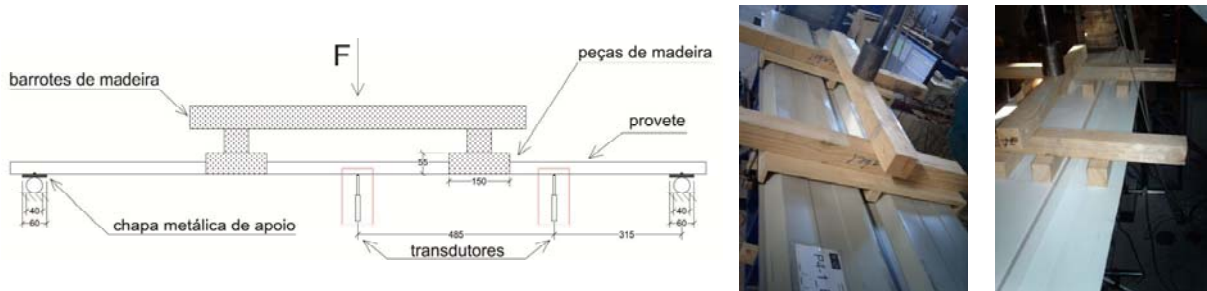


Fig.10: Esquema de montagem do ensaio de flexão e posição dos transdutores (dimensões em mm).

Os elementos de madeira utilizados para fazer a distribuição do carregamento transmitem a carga através de uma largura igual a 15 cm. Esta disposição procura prevenir a torção do painel a ensaiar, bem como fazer a distribuição das cargas pontuais evitando que os banzos comprimidos fiquem restringidos. Com esta disposição de carregamento, as chapas trapezoidais ficam submetidas a um diagrama de momentos flectores cujo momento máximo é constante entre pontos de aplicação de carga. Nessa mesma zona, o esforço transversal é nulo. O carregamento é efetuado impondo um deslocamento do atuador igual a 0.02 mm/s. O ensaio é controlado pela deformação do provete que é medida pelos transdutores representados. Dois estão alinhados a meio vão e um terceiro está posicionado a 31.5 cm do apoio direito. Os dois transdutores posicionados a meio vão medem a deformação da chapa no banzo superior comprimido.

4.4 Observação dos ensaios

Na Figura 11 e na Figura 12 encontra-se representado o modelo P4-0-30-272 (ambos os banzos retos) nas posições A e B, respetivamente, banzo largo traccionado e banzo largo comprimido. Para cada situação, faz-se uma numeração das nervuras e indica-se o esquema de distribuição das zonas de instabilidade correspondente. Através destas figuras, pretende-se mostrar os tipos de instabilidade que condicionam o comportamento das chapas e as zonas onde estes ocorrem.

Os esquemas identificados na Figura 11 e na Figura 12 correspondem a modos de instabilidade local. No caso dos provetes testados na posição A, formam-se dobras que se prolongam ao longo de uma das duas nervuras existentes, numa localização específica. No caso dos provetes testados na posição B, verifica-se claramente a formação de dobras nas extremidades de cada um dos banzos comprimidos e a posterior dobragem da chapa, até essas dobras se unirem totalmente (alinhamentos 1 e 2 da Figura 12), também em posições localizadas. Em ambos os casos, o perfil não sofre um colapso imediato, apresentando uma capacidade resistente residual, após a ocorrência de instabilidade. Na Figura 12.b/c/e/f apresentam-se imagens das zonas onde se verificou a ocorrência de instabilidade em cada um dos ensaios tipo realizados.

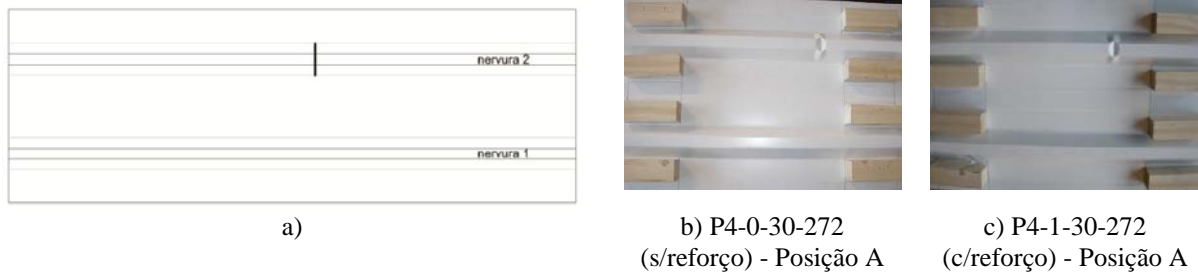


Fig. 11: Instabilidade nas chapas trapezoidais testadas na posição A: banzo largo traccionado.

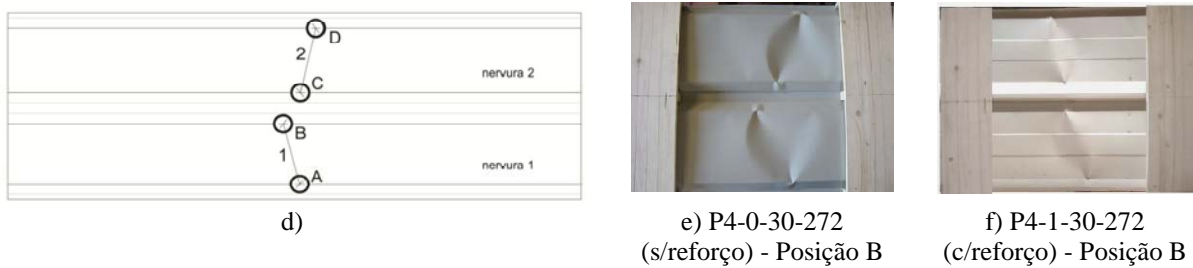


Fig. 12: Instabilidade nas chapas trapezoidais testadas na posição B: banzo largo comprimido.

4.5 Análise de resultados

Na Tabela 2 apresentam-se os valores de carga máxima e correspondente momento fletor, obtidos por via numérica e por via experimental para todos os provetes testados.

Tabela 2: Resultados experimentais e analíticos obtidos para todos os provetes testados.

Provete	Ensaio laboratoriais				Cálculo analítico	
	F_{\max} (kN)	$F_{\max, \text{médio}}$ (kN)	M_{\max} (kNm)	$M_{\max, \text{médio}}$ (kNm)	M_{\max} (kNm) $f_y = 280 \text{ MPa}$	M_{\max} (kNm) $f_{yexp} = 337.3 \text{ MPa}$
P4-0-A-1	1.29		0.317			
P4-0-A-3	1.22	1.25	0.300	0.308	0.282	0.313
P4-0-A-4	1.25		0.308			
P4-1-A-1	1.30		0.320			
P4-1-A-2	1.29	1.28	0.317	0.315	0.282	0.313
P4-1-A-3	1.25		0.308			
P4-0-B-2	1.36		0.335			
P4-0-B-3	1.36	1.36	0.335	0.341	0.286	0.330
P4-0-B-4	1.35		0.332			
P4-1-B-1	1.33		0.327			
P4-1-B-2	1.33	1.33	0.327	0.327	0.328	0.390
P4-1-B-3	1.33		0.327			

Nas Figuras 13 e 14 representa-se a evolução da força vertical total aplicada e da correspondente deformação medida a meio vão das chapas. Na Figura 13, observa-se um aumento localizado da deformação nos provetes P4-0-A, quando a força atuante atinge um valor de cerca de 1.10 kN. Este aumento da deformação na chapa, registado em ambos os transdutores posicionados a meio vão, corresponde ao momento em que a 2ª nervura do provete P4-0-A-1, e a 1ª nervura dos provetes P4-0-A-3 e P4-0-A-4 começam a enrugar. Nesta fase, a deformação referida não corresponde à formação de uma dobra, mas sim a uma deformação por enrugamento que se forma ao longo da chapa na zona de momento fletor máximo.

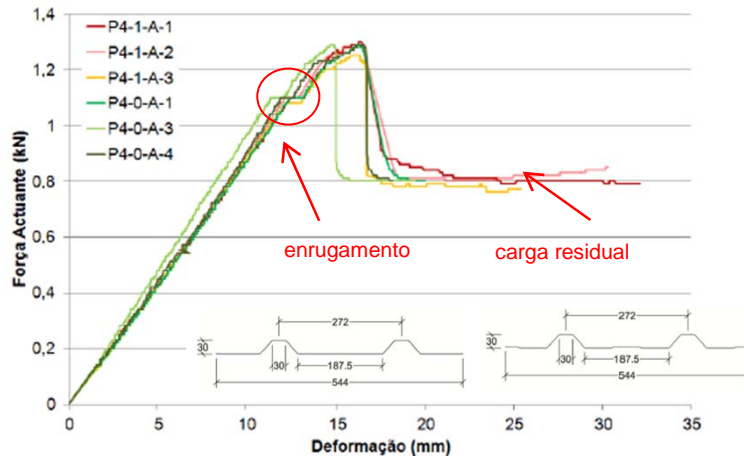


Fig. 13: Média do deslocamento dos transdutores a meio vão dos provetes colocados - posição A.

Quando se atinge a carga máxima aplicada, esta é imediatamente seguida da formação de uma dobra com localização específica, tal como descrito anteriormente. Nesse momento, ocorre uma diminuição rápida da carga aplicada. Em média, a força máxima atingida nos provetes de tipo P4-0-A é de 1.25 kN. Após ser atingida a carga máxima, verifica-se um decréscimo da carga aplicada, mas mantém-se uma capacidade resistente residual importante, já que em todos os provetes se garante um valor médio de carga residual atuante próxima de 0.8 kN.

Também na Figura 13 é possível observar que o comportamento dos provetes P4-1-A é similar ao comportamento dos provetes P4-0-A. Nos provetes P4-1-A verifica-se um valor médio da carga máxima atuante igual a 1.28 kN, que é muito próximo do valor obtido nos provetes P4-0-A. Quanto aos aspetos relacionados com o enrugamento e com o valor da carga residual, não se verificam diferenças. Pode-se concluir que a presença do reforço não influencia o comportamento das chapas testadas.

Na Figura 14 é possível observar as curvas que relacionam a carga aplicada com a deformação vertical máxima sofrida pelos provetes de tipo P4-0-B e P4-1-B.

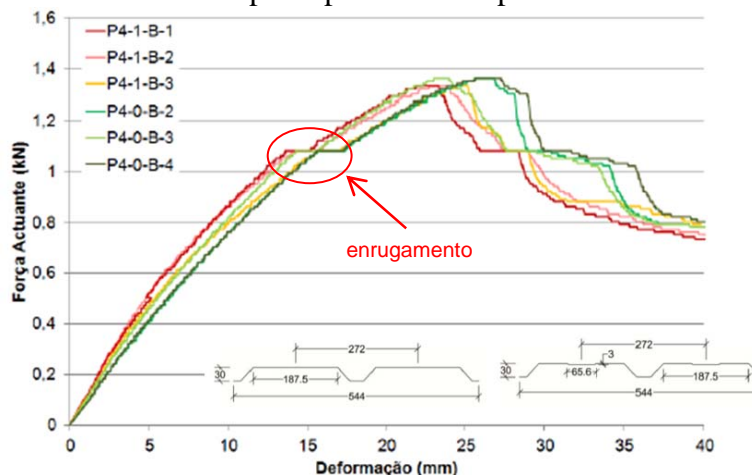


Fig. 14: Médias do deslocamento dos transdutores a meio vão dos provetes colocados segundo a posição B.

O primeiro patamar que se pode observar na Figura 14, comum aos provetes do tipo P4-0-B e P4-1-B, corresponde ao momento em que se inicia o enrugamento em ambas as nervuras. Com o aumento do deslocamento do atuador surgem as dobras localizadas nas nervuras. Nos provetes ensaiados na posição B, a primeira dobra ocorre normalmente na extremidade de uma das nervuras e estende-se de seguida à outra nervura. A correspondente quebra na carga

atuante é mais suave do que nos casos em que o provete se encontra na posição A. Nestes provetes, a carga diminui gradualmente uma vez que a primeira dobra, ocorrida numa nervura, se vai estendendo à outra nervura de forma progressiva. Ao contrário do que aconteceu nas situações anteriores, ambos os transdutores registam um aumento da deformação da chapa. Tal fenómeno prende-se com o facto de ambas as nervuras registarem dobras. Na posição B, a carga máxima atuante varia entre 1.35 e 1.36 kN, o que corresponde a um aumento médio de 7.35 % no valor de carga máxima em relação aos valores obtidos nos ensaios com a mesma chapa na posição A.

5. Conclusões

Desenvolveu-se uma ferramenta para calcular as características mecânicas de chapas metálicas trapezoidais. Esta ferramenta permitiu a realização de um estudo paramétrico para avaliar a influência da espessura da chapa, da largura dos banzos e das proporções do reforço de forma triangular inserido nos banzos, na resistência à flexão das chapas metálicas. A inserção de reforço no banzo comprimido mostrou que, quanto maior for a largura do banzo comprimido, maior poderá ser a largura do reforço inserido, desde que este se mantenha eficaz.

A avaliação experimental da resistência à flexão de dois modelos de chapa trapezoidal produzidos por uma empresa nacional permitiu a observação e identificação de fenómenos de instabilidade local nos banzos e nas almas dos provetes, antes de estes mobilizarem a tensão de cedência do material nessas zonas. Durante os ensaios laboratoriais foi possível verificar, que tanto os provetes com chapa de banzo reto como os provetes com chapa de banzo e reforço ensaiados com o banzo largo tracionado apresentaram um comportamento muito semelhante no que respeita à deformação e à capacidade de carga. Por seu turno, nos provetes ensaiados com o banzo largo comprimido, observou-se um ligeiro aumento na sua capacidade resistente à flexão quando estes não apresentavam reforço longitudinal nesse banzo. Os resultados experimentais obtidos permitem perceber melhor a eficácia das nervuras de reforço colocadas em banzos comprimidos de chapas trapezoidais.

6. Referências

- [1] Bakker, M. C. M. (1992). *Web Crippling of Cold-Formed Steel Members*. Ph.D.Thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, Netherlands.
- [2] EN 1993-1-3: 2006. *Eurocode 3 - Design of Steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting*, 2006.
- [3] Silvestre, N., Camotim, D. *Análise e Dimensionamento de Estruturas de Aço Enformadas a frio*. (Apontamentos de apoio à disciplina de Análise e Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço Enformadas a Frio, Aço-Inox e Alumínio). IST, Universidade Técnica de Lisboa. 2006.
- [4] Gherzi, A., Landolfo, R., Mazzolani, F.M. *Design of Metallic Cold-formed Thin-walled Members*. New York: Spon Press, Taylor & Francis Group. 2002.
- [5] Veríssimo, H. *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço Enformados a frio de acordo com o Eurocódigo 3*. Dissertação de Mestrado. IST, Universidade Técnica de Lisboa. Outubro 2011.
- [6] Martins, A. A. *Chapas Metálicas Enformadas a Frio para Coberturas e Fachadas. Análise Experimental e Analítica*. Dissertação de Mestrado Integrado. Univ. do Minho. Outubro 2011.
- [7] NP EN 10002-1: 1990. *Materiais Metálicos. Ensaio de tração. Parte 1: Método de ensaio*.