

# DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA E RIGIDEZ ESTRUTURAL DE PLACAS DE OSTEOSSÍNTESE METÁLICAS

P. A. M. Talaia<sup>1</sup>, C. Relvas<sup>1</sup>, L. Almeida<sup>2</sup>, J. Salgado<sup>2</sup> e J. A. Simões<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro

<sup>2</sup>LA Medical, Fabricantes de Instrumentos Cirúrgicos Lda., Albergaria-a-Velha

## RESUMO

*Para aferir as características mecânicas de resistência e rigidez de placas de osteossíntese metálicas, foi concebido e projectado um dispositivo mecânico tendo por base a norma ASTM F382-99. Fez-se uma análise numérica prévia do sistema para avaliar as suas características de rigidez e resistência, e com base nesse estudo, fabricou-se um dispositivo experimental. Realizaram-se três ensaios mecânicos, a outras tantas placas de osteossíntese, visando estudar a adequabilidade do dispositivo para o ensaio de placas de osteossíntese de acordo com a norma atrás referida.*

## INTRODUÇÃO

As placas designadas de osteossíntese são dispositivos que permitem a fixação de fracturas ósseas. São normalmente metálicas ou de materiais compósitos, estes últimos também sob a forma de materiais bio-absorvíveis. A investigação em torno deste tipo de componentes tem sido intensa [ver por exemplo referências 1 a 5]. Um exemplo de fixação óssea com placa de osteossíntese encontra-se patente na figura 1 [6].

A realização de ensaios estáticos e dinâmicos são extremamente importantes na caracterização de materiais e estruturas, permitindo a determinação de propriedades diversas e intrínsecas dos componentes. A rigidez e a resistência são, entre outras características mecânicas, as mais avaliadas no que diz respeito ao seu comportamento estrutural. Os ensaios de fadiga, por sua vez, permitem determinar a vida útil de

determinado componente sob solicitações dinâmicas para um determinado número de ciclos de fadiga [7].

## CONCEPÇÃO DO DISPOSITIVO DE ENSAIOS

O ensaio estático, de acordo com a norma ASTM F382-99, consiste em determinar as propriedades estruturais intrínsecas de placas metálicas usadas na fixação de fracturas ósseas [8]. A norma descreve os procedimentos a ter em consideração na realização de ensaios estáticos e dinâmicos de placas metálicas para determinar as suas propriedades de rigidez e de resistência em flexão. No ensaio de fadiga, o objectivo consiste em determinar a vida à fadiga do componente sob uma gama de momentos de flexão ou determinar a sua resistência à fadiga para um número específico de ciclos.

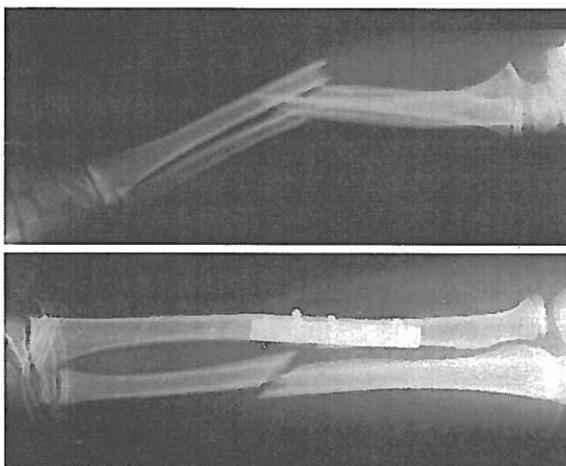


Fig 1 – Exemplo de aplicação de uma placa de osteossíntese [6].

O dispositivo foi concebido tendo em consideração a norma ASTM F 382-99. As características geométricas e dimensionais do mesmo foram previamente definidas com base no cálculo estrutural realizado. Para o efeito, considerou-se a concepção de um sistema rígido, evitando tanto quanto possível as deformações que possam, para além de comprometer a resistência do próprio dispositivo, influenciar co-lateralmente os resultados dos ensaios mecânicos.

A figura 2 ilustra o modelo CAD do dispositivo de ensaios concebido. A fixação do dispositivo à máquina de ensaios de tracção universal é feita através de uma peça que permite ajustar o componente a ensaiar. Como se pode atestar pela figura 2, o dispositivo de ensaios é composto por três componentes: duas peças base e uma outra peça de fixação à cabeça da máquina de ensaios de tracção-compressão (peça superior). As duas peças base contêm cada uma um cilindro (roletes) apoiado em dois rolamentos cada. Por sua vez, a peça superior contém dois cilindros, cada um apoiado em dois rolamentos. Os rolamentos permitem minimizar o atrito entre a placa e os cilindros transmissores da carga.

Atendendo aos objectivos dos ensaios especificados na norma, o dispositivo terá que, para além de apresentar a necessária resistência mecânica, ter rigidez suficiente para não influenciar os resultados dos ensaios das placas. Deste modo, houve a

preocupação no desenvolvimento do projecto com a selecção de materiais de modo que a sua rigidez fosse comparativamente muito superior à da placa. Para o efeito, recorreu-se à simulação numérica do dispositivo determinado os campos de tensões de von Mises e deformações e deslocamentos equivalentes. A simulação foi realizada com a aplicação de elementos finitos CosmosWorks®, usando elementos sólidos do tipo tetraédricos lineares. Para estimar a carga em cada cilindro, simulou-se numericamente uma placa de osteossíntese em carga para determinar a pseudo carga de rotura. A figura 3 ilustra uma placa típica de osteossíntese e um pormenor da malha de elementos finitos. A tabela 1 contém as propriedades mecânicas da placa simulada, que são de um aço ligado com características semelhantes ao aço inoxidável 316L de que são feitas as placas.

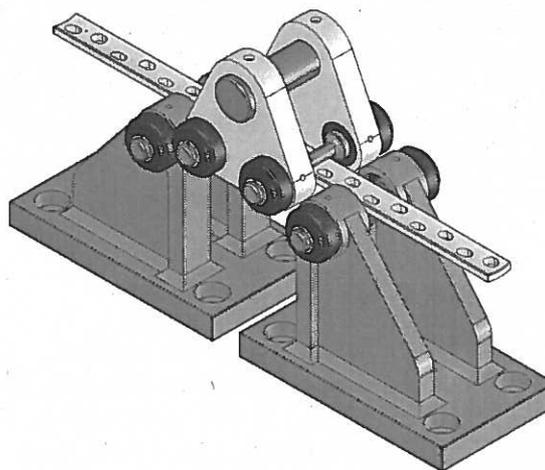


Fig 2 – Modelo CAD do dispositivo de ensaios concebido.

Os resultados obtidos evidenciaram que quando a placa é sujeita a uma carga de ensaio de 2000 N desenvolve uma tensão equivalente de von Mises de cerca de 167 MPa. Como o material utilizado nas simulações apresenta uma tensão de rotura da ordem de 724 MPa, os valores de tensões obtidos indicam, em comportamento linear elástico, que o componente fracturará para uma carga da ordem de 1200 N. A figura 4 ilustra as zonas da placa que estão para além da tensão de cedência (zonas mais claras).

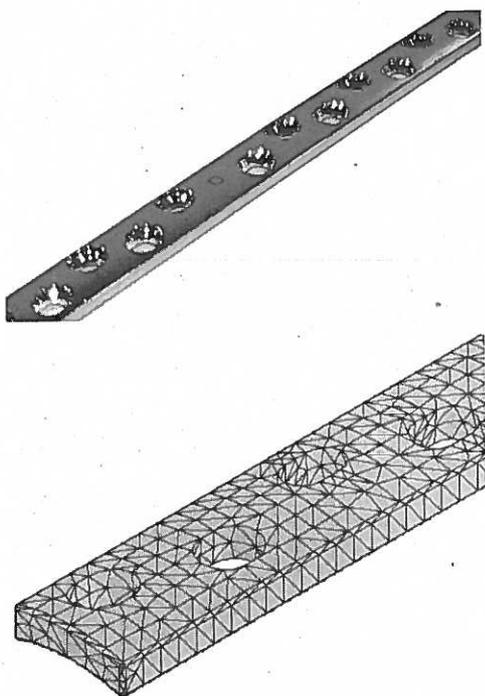


Fig 3 – Placa de osteossíntese e pormenor da malha de elementos finitos.

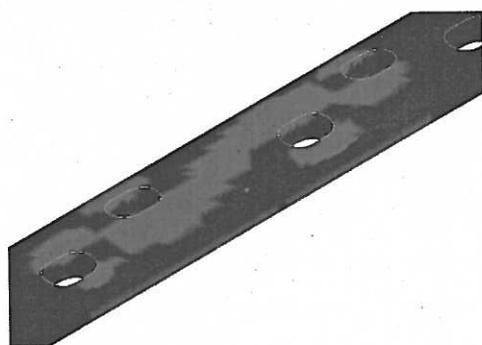


Fig 4 – Zonas da placa mais susceptíveis de fractura.

**Tabela 1** – Propriedades mecânicas da placa de osteossíntese usadas nas simulações numéricas.

Módulo de elasticidade (GPa)	210
Coefficiente de Poisson	0.28
Módulo de corte (GPa)	7.9
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	7700
Tensão de cedência (MPa)	620
Tensão de rotura (MPa)	724

Os resultados permitiram aferir a resistência necessária para os cilindros transmissores de carga e de apoio à placa. Como o diâmetro dos cilindros é imposto pela norma, não pode ser superior à distância entre a periferia de dois furos consecutivos, foi fundamental determinar

os níveis de tensões e deformações a que podem estar sujeitos aquando de um ensaio mecânico. As simulações numéricas foram realizadas considerando as mesmas propriedades mecânicas da placa simulada. Considerou-se uma força total de ensaio de 2000 N.

A figura 5 ilustra os campos de tensões equivalentes de von Mises e deslocamentos dos cilindros de carga, elementos estruturalmente mais solicitados no dispositivo de ensaios. Como se pode atestar pelos resultados obtidos, os cilindros devem ser feitos num material de alta resistência e de elevada dureza por razões estruturais e pelo facto de serem sujeitos a tensões de fadiga aquando de ensaios dinâmicos. Para a carga simulada, o cilindro desenvolveu uma tensão da ordem de 130 MPa, cerca de 4 vezes inferior à tensão de cedência considerada. As deformações e deslocamentos observados foram muito reduzidos, não devendo os cilindros aparentemente influenciar os resultados das características de rigidez e resistência das placas.

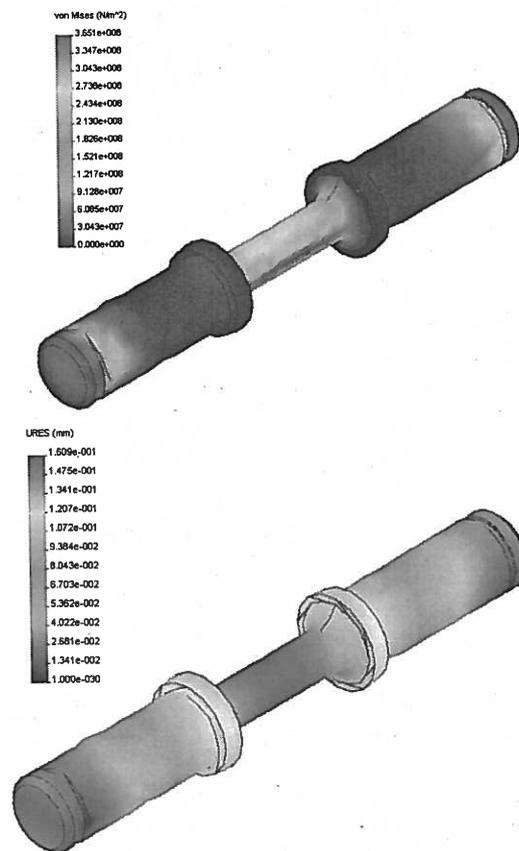


Fig 5 – Campos de tensões von Mises e deslocamentos equivalentes.

As figuras 6 e 7 ilustram os campos de tensões e deformações para as restantes peças do dispositivo de ensaios.

Os resultados mostram que os componentes apresentam rigidez e resistência suficientes pelo facto dos níveis das tensões de von Mises e deformações estarem significativamente abaixo dos limites críticos do material das peças.

## ENSAIOS MECÂNICOS E RESULTADOS

Realizou-se uma série de três ensaios mecânicos de modo a aferir a repetibilidade dos resultados e para determinar os valores dos parâmetros de resistência e de rigidez especificados na norma. Os ensaios realizados mostraram excelente repetibilidade, apresentando-se na figura 8 uma curva típica (carga *versus* deslocamento) dos mesmos. A figura 9 ilustra a forma como as tangentes foram retiradas dos gráficos dos ensaios para determinar os parâmetros especificados na norma. As imagens da figura 10 ilustram a evolução da deformação de uma placa de

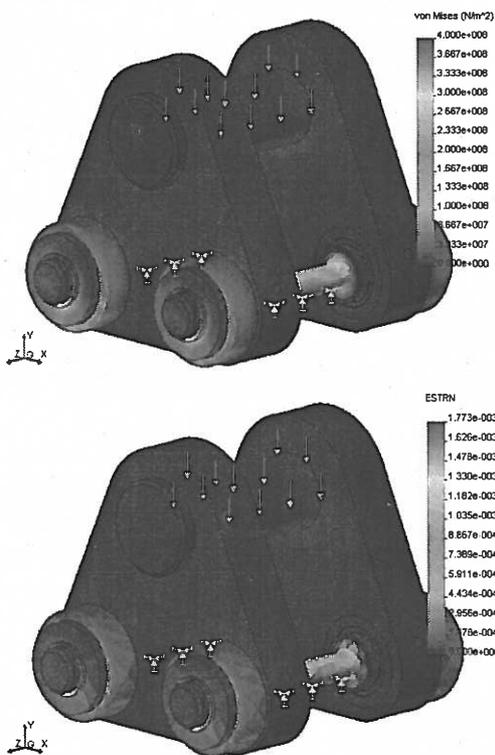


Fig 6 – Campos de tensões e deformações para o dispositivo superior.

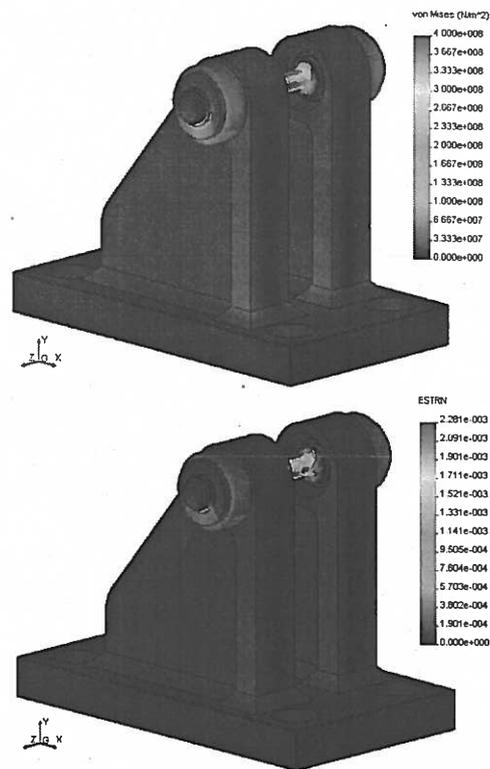


Fig 7 – Campos de tensões e deformações para o dispositivo inferior.

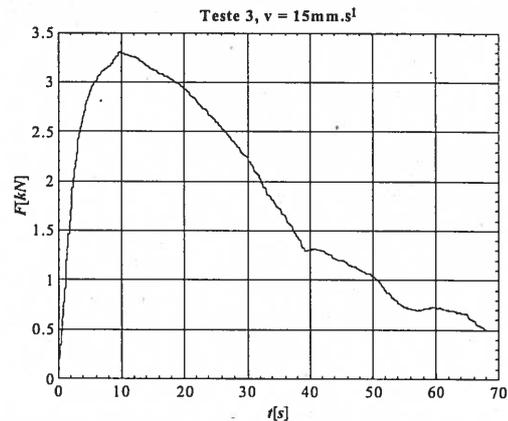


Fig 8 – Curva força *versus* deslocamento para uma placa de osteossíntese metálica.

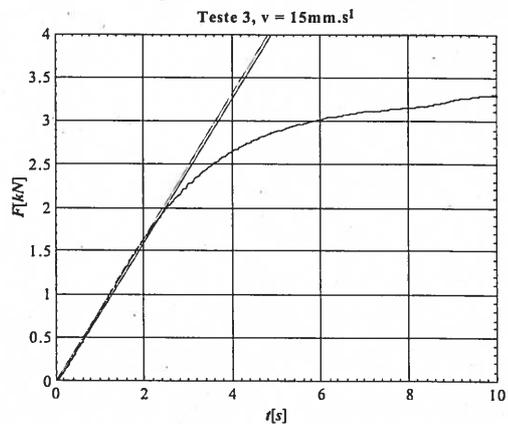
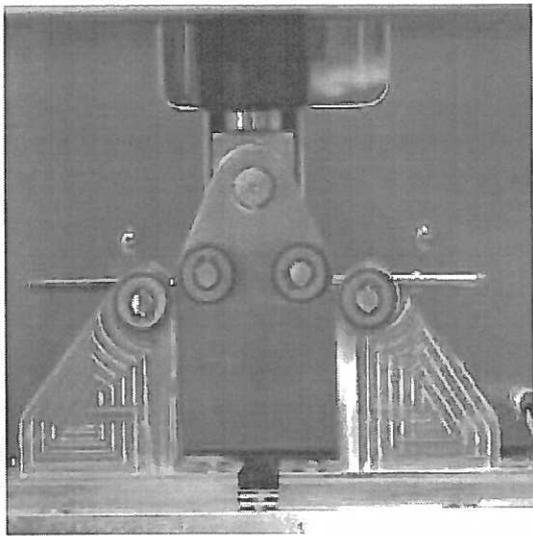
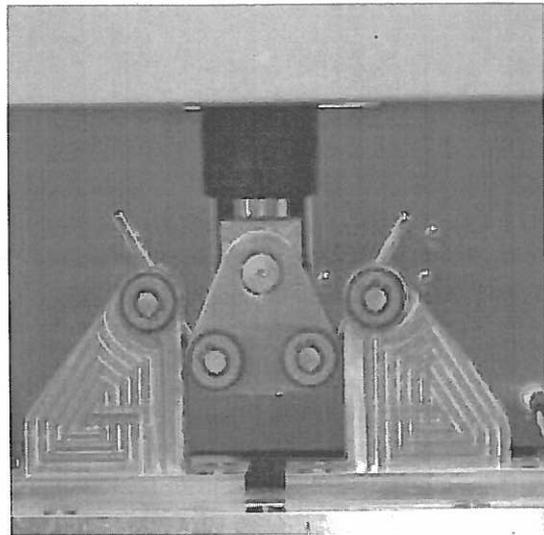


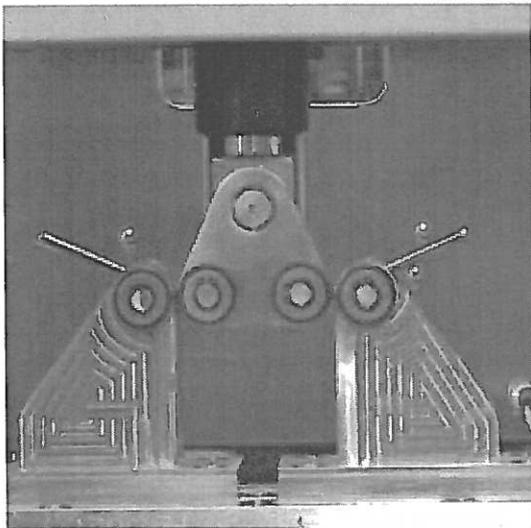
Fig 9 – Tangentes à curva força *versus* deslocamento para determinar os parâmetros de resistência e rigidez.



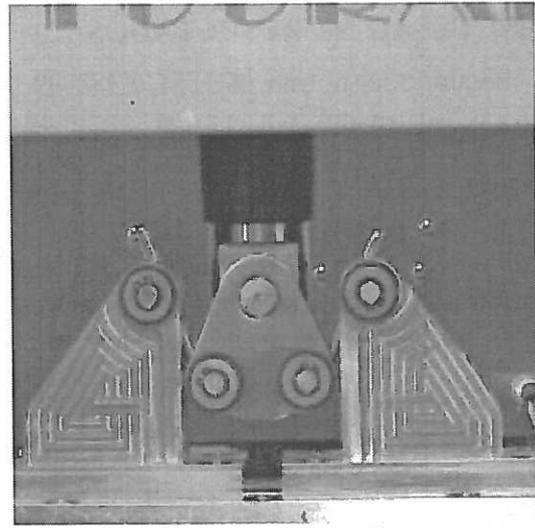
(t=0 s)



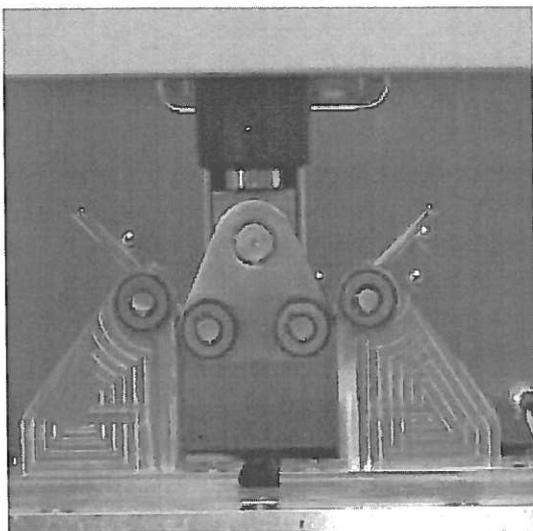
(t=36 s)



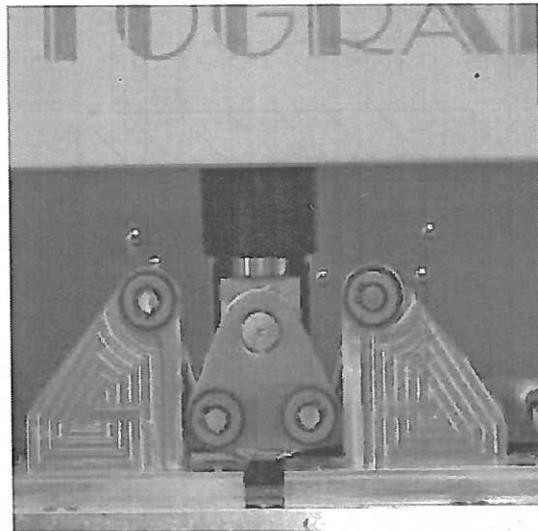
(t=12 s)



(t=48 s)



(t=24 s)



(t=60 s)

**Fig 10** – Evolução da deformação de uma placa de osteossíntese metálica.

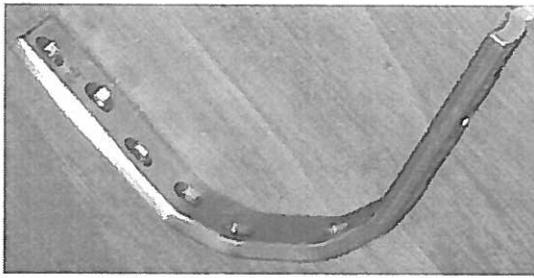


Fig 11 – Aspecto final de uma placa de osteossíntese metálica depois de ensaiada.

osteossíntese durante um ensaio. As imagens foram obtidas em intervalos de tempo iguais (aproximadamente 12 s). Na figura 11 pode-se ver o aspecto final de uma das placas depois de ensaiada.

## DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Segundo a norma ASTM F382-99, é necessário determinar vários parâmetros mecânicos referentes às placas de osteossíntese metálicas ensaiadas, tendo como referência o esquema da figura 12. Os parâmetros  $a$  e  $h$  são características do ensaio a respeitar, que para as placas ensaiadas eram:  $a=46.06$  mm e  $h=32.59$  mm.

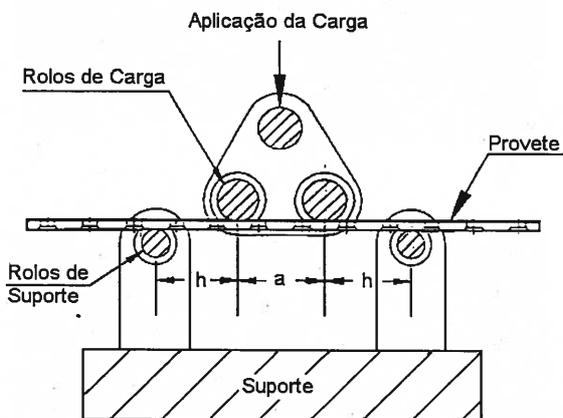


Fig 12 – Esquema do dispositivo de ensaio segundo a norma ASTM F382-99.

Segundo a norma, os parâmetros a determinar com o ensaio de flexão em quatro pontos, a rigidez elástica  $K$  é obtida pela seguinte relação:

$$K = \frac{F_{ced}}{d_{ced}} \quad (1)$$

sendo  $F_{ced}$  a força máxima da zona elástica e  $d_{ced}$  o valor do deslocamento correspondente.

A resistência estrutural da placa é dada pela equação:

$$E \cdot I_e = \frac{(2 \cdot h + 3 \cdot a) \cdot K \cdot h^2}{12} \quad (2)$$

sendo  $E$  o módulo de elasticidade da placa,  $I_e$  o momento de inércia e, como vimos anteriormente,  $K$  a rigidez elástica (equação 1).

A tensão limite elástico da placa é determinada pela equação:

$$\sigma_{ced} = \frac{F_{ced} \cdot h}{2} \quad (3)$$

sendo a tensão máxima da placa:

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max} \cdot h}{2} \quad (4)$$

Para a determinação dos valores médios dos parâmetros das equações atrás apresentadas, usou-se:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (5)$$

e cujos desvios padrão determinaram-se usando:

$$\Delta x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (6)$$

Usando as expressões de 1 a 6 obteve-se os resultados dos ensaios apresentados na tabela 3.

## CONCLUSÕES

O cálculo estrutural do dispositivo de fixação permitiu aferir o estado de tensão deformação a que o mesmo é sujeito. Os resultados evidenciaram que, em princípio, o mesmo apresenta a necessária rigidez e resistência, tendo em consideração os requisitos dos ensaios especificados na norma ASTM F 382-99.

**Tabela 3** – Valores médios de resistência e rigidez obtidos das três placas de osteossíntese ensaiadas.

	Fced (kN)	K (N/mm)	EIe (N mm <sup>2</sup> )
Média	1,609	0,841	15136
Desvio Padrão	0,379	0,020	355
	Fmax (kN)	Sced (N mm)	Smax (N mm)
Média	3,424	26,211	55,792
Desvio Padrão	0,190	6,168	3,095

Os resultados experimentais permitiram a determinação de características mecânicas das placas de osteossíntese metálicas. Para as ensaiadas, as propriedades determinadas satisfazem os seus requisitos funcionais, que consistem em fixar os ossos fracturados até à sua completa união, sem fracturarem.

Para aferir a versatilidade da norma, no contexto destes ensaios mecânicos, será necessário estudar o comportamento do sistema em ensaios de placas de osteossíntese fabricadas em outros materiais bio compatíveis.

## REFERÊNCIAS

- [1] Akeson, W. H., Woo, S. L. Y., Coutts, R. D., Matthews, J. W. Y., Gonsalves, M., Amiel, D., 1975, "Quantitative histological evaluation of early fracture healing of cortical bones immobilized by stainless steel and composite plates", *Clacif. Tiss. Res.*, 19, pp. 27-37.
- [2] Claes, L., 1989, "The mechanical and morphological properties of bone beneath internal fixation plates of differing rigidity", *J. Orthop. Res.*, 7, pp. 170-177.
- [3] Klaue, K., Fengeles, I., Perren, S., M., 2000, "Long-term effects of plate osteosynthesis: Comparison of four different plates", *Injury, Int. J. Care Injured*, 31, S-B51 – S-B62.
- [4] Klaue, K., Perren, S. M., 1989, "Unconventional shapes of the plate cross section in internal fixation: the trapezoid plate. Long-term study of bone reaction in sheep tibiae", *Am. Acad. Orthop. Surgeons*, 56<sup>th</sup> Ann. Meet., 9-14 Feb., Las Vegas, p. 252.
- [5] McCullen, G. M., Garfin, S. R., 2000, "Spine update: cervical spine internal fixation using screw and screw-plate constructs", *Spine*, 25, pp. 643-652
- [6] Kirkos, J. M., Beslikas, T., Kapras, E., A., Papavasiliou, V. A., 2000, "Surgical treatment of unstable diaphyseal both-bone forearm fractures in children with single fixation of the radius", *Injury, Int. J. Care Injured*, 31, pp. 591-596.
- [7] Talaia, P., Simões, J. A., 2003, "Concepção, projecto e análise pelo método dos elementos finitos de um dispositivo mecânico para a realização de ensaios estáticos e dinâmicos de placas de osteossíntese metálicas", 3<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 19 a 20 de Novembro 2003, Coimbra.
- [8] "Standard Specifications and Test Method for Metallic Bone Plates", ASTM F382-99, ASTM International, 1999.

