

Efeito das próteses da anca no comportamento dinâmico do fémur humano

J.F. Dias Rodrigues

DEMEGI. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
R. Dr. Roberto Frias, sn. 4200-465 Porto. Portugal
jdr@fe.up.pt

R. S. Moreira

Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade de Aveiro
Campus Santiago, 3810-193 Aveiro. Portugal
rmoreira@mec.ua.pt

RESUMO

Neste artigo é caracterizada a modificação das propriedades dinâmicas do osso do fémur introduzida pela aplicação de próteses da anca. A modificação estrutural é caracterizada e quantificada pela variação das quatro primeiras frequências naturais, identificadas experimentalmente, de modelos sintéticos do osso do fémur humano com e sem implante. De modo a avaliar a influência da geometria e material da prótese, são ensaiadas e comparadas diferentes configurações para o conjunto osso-prótese. A metodologia experimental aplicada no processo de caracterização e os resultados obtidos são apresentados.

INTRODUÇÃO

No esqueleto humano, as solicitações a que os diversos ossos estão submetidos podem ser de natureza dinâmica, em particular quando resultantes de equipamentos mecânicos. Os efeitos provocados pela aplicação de forças dinâmicas na resposta estrutural óssea e na sua integridade dependem das frequências naturais e podem ser agravados no caso de indivíduos portadores de próteses de anca.

A aplicação de próteses na parte superior do fémur introduz alterações estruturais significativas e dependentes da forma e do tamanho da haste do implante assim como do próprio material. A modificação estrutural introduzida é, por um lado, devida à massa adicional proporcionada pela relação entre a massa volúmica do material do implante e do osso esponjoso e, por outro, à rigidez mais elevada da haste do implante que é introduzida na zona superior do fémur, resultando, em consequência, uma alteração das propriedades dinâmicas do conjunto fémur-prótese, em particular das frequências naturais e dos amortecimentos modais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar os efeitos destas alterações, desenvolveu-se um estudo experimental comparativo baseado em funções de resposta em frequência de modelos do fémur sem implante e com diferentes configurações de próteses, analisando as alterações introduzidas ao nível das frequências naturais do conjunto.

Os provetes ensaiados são modelos sintéticos do fémur humano (Sawbones Europe®, Ref. 3103) e estão ilustrados na Figura 1. As próteses aplicadas nos modelos são as indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Próteses da anca aplicados nos modelos de fémur

Provete	Prótese	Material	Massa
Modelo 1	--	--	--
Modelo 2			
Modelo 3			
Modelo 4			
Modelo 5			
Modelo 6			



Figura 1 – Provetes experimentais.

A avaliação das propriedades dinâmicas assenta na determinação experimental das frequências naturais na gama de frequências [0; 1.6] kHz através da medição de funções de resposta em frequência de tipo aceleração.

Para simular condições de fronteira livre-livre, os modelos de fémur são suspensos de um pórtico rígido por dois finos fios inelásticos de nylon que permitem o movimento de corpo rígido na direcção da medição. As secções de amarração dos fios aos modelos são aproximadamente as secções nodais das duas primeiras formas naturais de vibração. Para a excitação dos modelos é aplicada uma carga dinâmica aleatória com conteúdo espectral na banda [0; 1.6] kHz através de um excitador electromagnético LDS V200 alimentado pelo amplificador LDS PA25E que recebe o sinal do gerador B&K??. A aplicação da força aos modelos é realizada através de uma haste metálica flexível. A força dinâmica aplicada e a respectiva resposta em aceleração são medidas por uma cabeça de impedância piezoeléctrica Brüel&Kjær 8001. Com os sinais da excitação e da resposta, depois de pré-condicionados, é determinada uma função de resposta em frequência directa e a respectiva função coerência utilizando o analisador dinâmico de sinal Brüel&Kjær 2035. A montagem experimental está ilustrada na Figura 2.

Para cada modelo, a excitação é aplicada na cabeça do fémur segundo duas direcções perpendiculares, medindo-se assim duas funções de resposta em frequência directas, respectivamente nos planos Oxy (lateral-medial) e Oxz. Na Figura 3 estão representadas as funções de resposta em frequência de tipo aceleração medidas para cada modelo ensaiado e sob a forma de magnitude e fase.

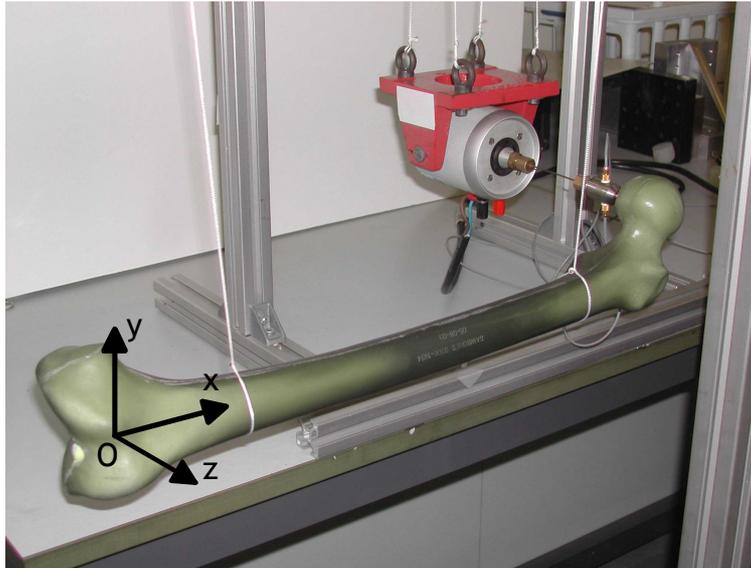


Figura 2 – Montagem experimental.

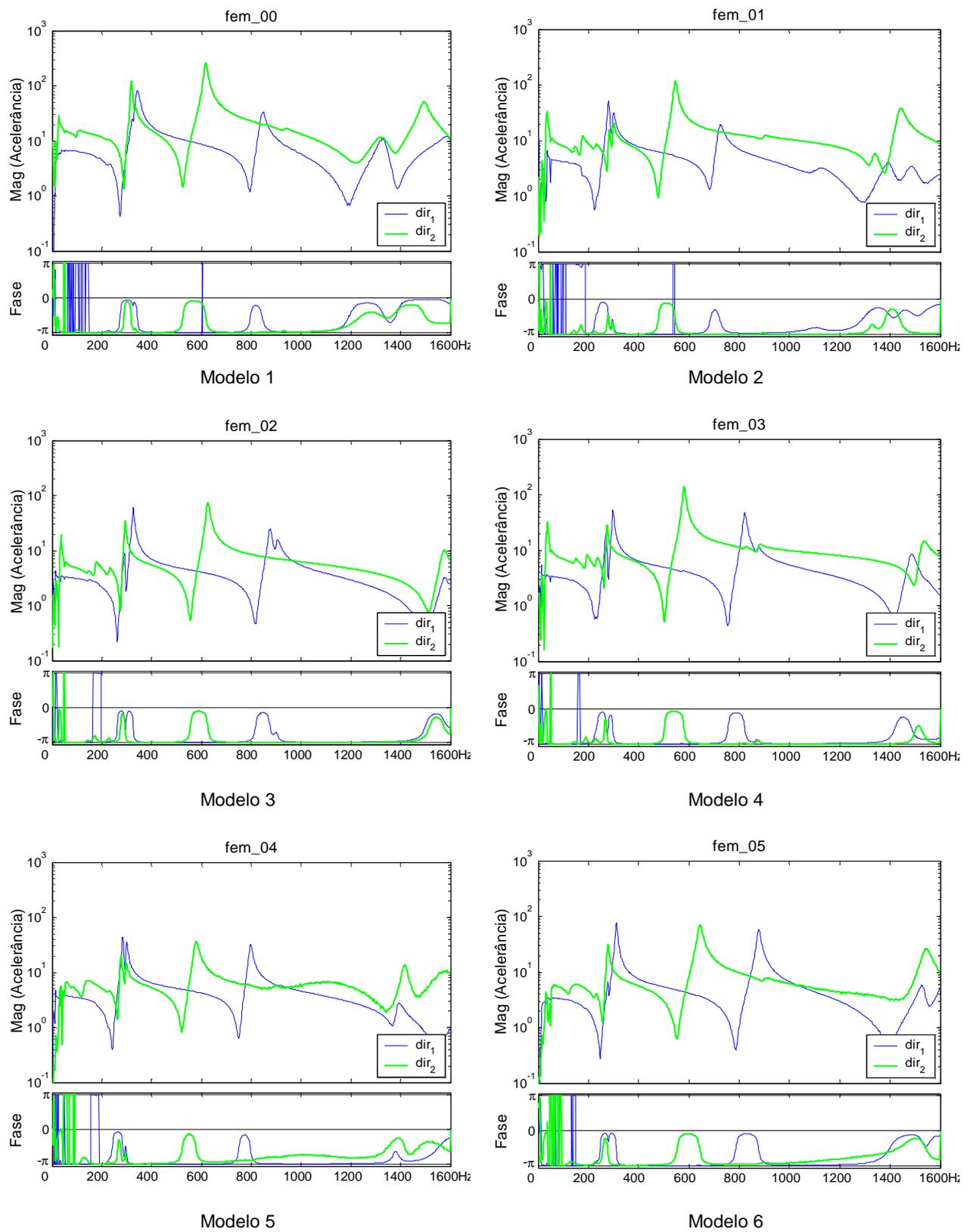


Figura 3 – Funções de resposta em frequência directas medidas nos seis provetes experimentais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise das funções de resposta em frequência directas foi possível identificar as frequências naturais (Tabela 2) relativas ao primeiro modo de flexão no plano Oyz (f_1), ao primeiro modo de flexão no plano Oxy (f_2), ao primeiro modo de torção (f_3) e ao segundo modo de flexão no plano Oxy (f_4). Como se pode constatar, os fémures com implante apresentam alterações estruturais que se manifestam em frequências naturais distintas entre si e das do fémur de referência. As frequências naturais do fémur sem implante apresentam valores próximos de um modelo idêntico analisado em [5-6].

Tabela 2 – Frequências naturais dos modos de flexão dos provetes

Provete	f_1 [Hz]	f_2 [Hz]	f_3 [Hz]	f_4 [Hz]
Modelo 1	318	344	618	846
Modelo 2	280	300	546	726
Modelo 3	294	326	626	876
Modelo 4	274	298	582	822
Modelo 5	284	300	578	798
Modelo 6	280	312	646	878

Na Figura 4 representa-se o desvio relativo entre as frequências naturais identificadas nos modelos com prótese relativamente ao modelo 1 que representa o fémur sem prótese.

As modificações introduzidas pelos implantes nas frequências naturais são, por um lado, devidas ao aumento de massa, principalmente na zona da cabeça do fémur, e, por outro, devidas ao aumento de rigidez proporcionado principalmente pela haste da prótese.

Os valores das duas primeiras frequências naturais dos fémures com implante situam-se nas bandas de valores [274-294] Hz e [298-326] Hz respectivamente, inferiores em ambos os casos aos respectivos valores das frequências naturais do modelo sem prótese. Para estes dois modos, modos de flexão, os modelos com prótese apresentam, pois, uma rigidez dinâmica inferior, sendo o aumento de massa predominante sobre o aumento de rigidez.

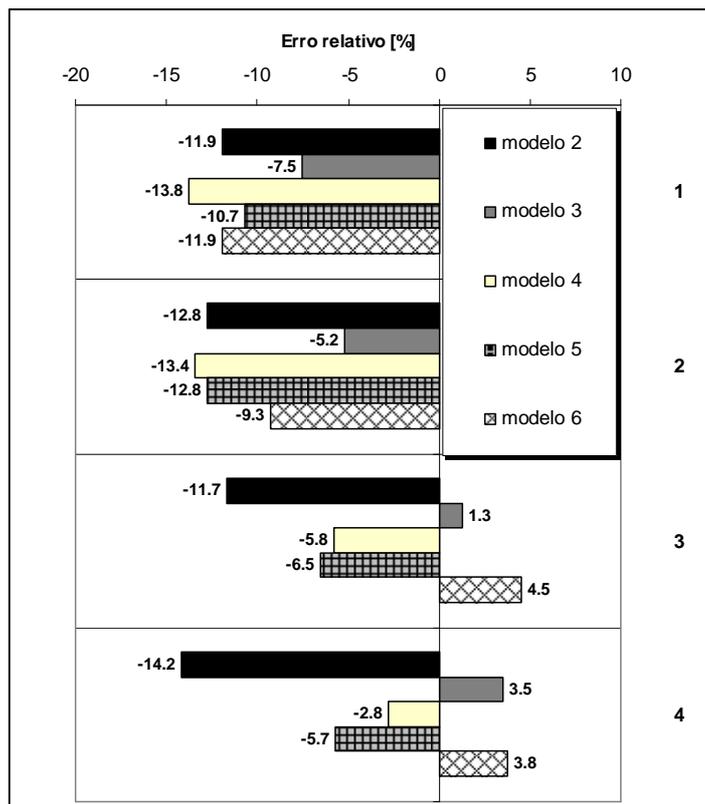


Figura 4 – Desvio relativo das frequências naturais relativamente ao modelo 1

Para os terceiro e quarto modos, torção e flexão, os modelos 2, 4 e 5 apresentam valores inferiores enquanto que os modelos 3 e 6 apresentam valores superiores, verificando-se que no primeiro caso o aumento de massa não é acompanhado do correspondente aumento de rigidez e a situação inversa no segundo caso.

Enquanto que a alteração de rigidez é evidenciada sobretudo nos primeiros modos naturais de flexão (F1 e F2) a massa adicional, principalmente a massa correspondente à extremidade exposta da prótese (cabeça), apresenta um efeito mais notório nos modos de flexão de 2º grau e no modo de torção.

CONCLUSÕES

O estudo realizado permite constatar que a aplicação de um implante altera as frequências naturais do fémur e, em consequência, da estrutura óssea cujas características de resposta dinâmica são alteradas. No entanto, e de uma forma global, as diferentes combinações de geometria e material da prótese conduzem a resultados relativamente próximos dos observados no fémur sem prótese. O estudo revela, ainda, que a prótese aplicada no modelo 3 é aquela que mais se aproxima do fémur de referência em termos de frequências naturais presentes na banda analisada e a prótese aplicada no modelo 2 é aquela que mais se afasta. Assim, pode igualmente concluir-se que a geometria e os materiais podem ser escolhidos de forma a minimizar as alterações estruturais do conjunto fémur-prótese.

REFERÊNCIAS

- [1] Simões, J.A., Vaz, M.A., Taylor, M., 2001. Influence of head constraint and muscle forces on the strain distribution within the intact femur. *Medical Engineering Physics* 22(7), 453-459.

- [2] Simões, J.A., Marques, A.T., 2004. Estudio y desarrollo de una prótesis femoral de rigidez estructural graduada. In: Müller-Karger, M., Cerrolaza, M. (Eds.), Bioingeniería en Iberoamérica: Avances y Desarrollo. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE), Barcelona, pp. 451-476.
- [3] Simões, J.A., 1999. Estudo da componente femoral da prótese de anca de rigidez controlada. Tese Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [4] Carvalho, L., Ramos, A., Simões, J.A., 2003. Finite element analysis of a dental implant system with an elastomeric stress barrier. In: Proceedings of the 2003 Summer Bioengineering Conference, Florida, pp.733-734.
- [5] J.F.Dias Rodrigues, H. Lopes, F.Q. de Melo and J.A. Simões, Experimental Modal Analysis of a Synthetic Composite Femur, *Experimental Mechanics*, 44(1), 2004, pp 29-32.
- [6] J. Dias Rodrigues, H. Lopes, F.J.Q. de Melo, J.A. Simões, Análise Modal de um Modelo Femoral Compósito, *Mecânica Experimental, Revista da APAET*, nº 5, pp. 35-41, 2000.