

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE HASTE DE UMA PRÓTESE TOTAL DE QUADRIL<sup>1</sup>

Raphael Calazans Cardoso<sup>2</sup>

Thiago Figueiredo Azevedo<sup>3</sup>

Antônio Pereira Santos<sup>4</sup>

Sandro Griza<sup>5</sup>

## Resumo

As substituições articulares são importantes para indivíduos que sofrem por doenças degenerativas ou acidentes. Uma das técnicas mais utilizadas é a substituição total de quadril. Na realização dos estudos que tem como propósito a análise e o aprimoramento dos implantes é importante o uso da simulação numérica, já que através dessa ferramenta é possível solucionar problemas associados a formas complexas. O presente estudo visa realizar uma simulação computacional que retrate as condições impostas a uma prótese, com objetivo de analisar as tensões geradas na peça em situações diferentes de geometria e interface. Foram estudados dois tipos de condições geométricas (com e sem suporte distal) em dois tipos de interface (colada e com atrito estático de 0.15). Para as condições de contorno da simulação foi realizado engastamento na base e carregamento de 287,5 MPa, que corresponde a 2.300 N de força na parte superior da prótese. Além disso, foram consideradas as propriedades constitutivas do osso como 15 GPa de módulo de elasticidade e 0,3 de coeficiente de Poisson, do cimento ósseo como 2,8 GPa e 0,33; e finalmente da haste como 205 GPa e 0,3. Com os resultados da simulação ficou explícito que a ausência de suporte distal não alterou o valor e a distribuição de tensões no caso de superfície colada, mas alterou no caso de atrito.

**Palavras-chave:** Simulação; Implantes; Tensões.

## SIMULATION NUMERICAL ROD OF A TOTAL HIP PROSTHESIS

### Abstract

Joint replacements are important for individuals who suffer from degenerative diseases or accidents. One of the most used techniques is the total hip replacement. In the studies that aim to analyze and improve the design implants, it is important to use the numerical simulation, since it can solve problems associated with complex shapes. The present study aims to evaluate a computer simulation reproducing the conditions imposed on a THA stem. The study aims to analyze the stresses generated in the stem in different THA forms and interface. We studied two forms: with and without distal support; and two interfaces: bonded and with static friction of 0.15. The load applied was 287.5 MPa, which corresponds to 2,300 N force on the top of the stem. Constitutive properties used for the bone was 15 GPa of modulus of elasticity and 0.3 of Poisson's ratio; for the cement was 2.8 GPa and 0.33, and finally for the stem was 205 GPa and 0.3. The simulation showed that the lack of distal support did not alter significantly the amount and distribution of stresses in the case of interfacial bond, but it alter the amount and distribution of stresses in the case of friction.

**Key words:** Simulation; Implants; Stress.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 68<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil

<sup>2</sup> Estudante de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

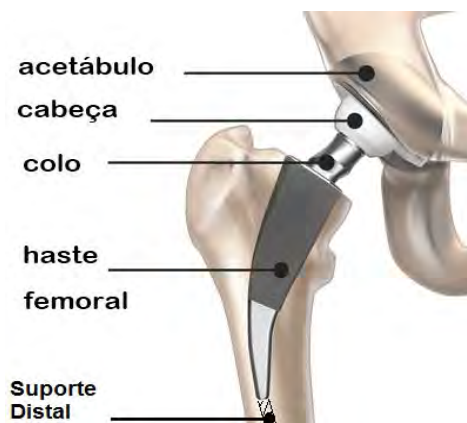
<sup>3</sup> Estudante de Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro de materiais. Mestrando. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro mecânico. Orientador. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

As substituições articulares são importantes para indivíduos que sofrem por doenças degenerativas ou acidentes graves. Uma das mais utilizadas técnicas é a substituição total de quadril, que vem sendo estudada por várias décadas. Nesse tipo de procedimento é feita a substituição do quadril danificado por um sistema de materiais artificiais, os implantes. A Figura 1 mostra os componentes de uma substituição total do quadril e a região correspondente ao suporte distal.



**Figura 1.** Componentes de um implante femoral. Fonte: ortopediasp.wordpress.com.

O desenvolvimento e projeto de implantes é um problema complexo, uma vez que o seu desempenho depende das magnitudes e orientações das cargas, geometria da estrutura, propriedades mecânicas dos materiais, bem como das condições físicas de conexões dos materiais. Logo, para a realização dos estudos que tem como propósito a análise e o aprimoramento desses implantes é importante o uso da simulação numérica, já que através dessa ferramenta é possível solucionar problemas associados a formas complexas, de maneira a determinar a melhor forma e materiais utilizados.

Dessa maneira, o presente estudo visa realizar uma simulação computacional que retrate as condições impostas à haste de uma substituição total de quadril, com o objetivo de analisar as tensões geradas na peça em situações diferentes de geometria e interface. Foram estudados dois tipos de condições geométricas (com e sem suporte distal) em dois tipos de interface (colada e com atrito estático de 0.15). Estas condições geométricas são importantes não apenas do ponto de vista clínico, associado a possíveis erros na técnica de cimentação, mas também do ponto de vista mecânico, associado a protocolos de ensaios in vitro. Foi desenvolvido um estudo das deformações impostas em fêmures compósitos através da redução do comprimento total das hastes, procedimento que expôs a ponta da haste.<sup>(1)</sup> Além disso, foi estudado a estabilidade de uma haste Exeter em função da redução de seu comprimento.<sup>(2)</sup> Neste caso o estudo foi feito novamente sem o suporte distal.

Este trabalho tem como objetivos realizar a simulação computacional da haste de uma prótese total de quadril em duas condições distintas: com suporte distal e sem suporte distal, através de simulação numérica e representando as condições de contorno e cargas que são exercidas na haste.

Através dos resultados fornecidos na simulação será traçado um gráfico que represente as tensões de Von Mises ao longo do comprimento da haste nas duas condições estudadas, de modo que retrate os valores e a distribuição das tensões na haste.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a simulação da haste foram utilizados dois critérios: o conjunto com suporte distal e sem o suporte distal (Figura 2). O procedimento de simulação, as interações interfaciais entre a haste, o cimento ósseo e o tecido ósseo, além das propriedades constitutivas dos materiais foram baseadas em estudos prévios.<sup>(3-7)</sup> O osso foi simulado com 15 GPa de módulo de elasticidade e 0,3 de coeficiente de Poisson, o cimento ósseo com 2,8 GPa de módulo de elasticidade e 0,33 de coeficiente de Poisson e finalmente a haste com 205 GPa de módulo de elasticidade e 0,3 de coeficiente de Poisson. Foi utilizado programa adequado para a simulação numérica. A interação entre as superfícies foi: a) colada e b) com coeficiente de atrito estático de 0,15. A malha foi do tipo quadrático em todas as peças, sendo que no modelo do osso a forma do elemento foi hexagonal enquanto que na haste foi elemento tetragonal. As condições de contorno aplicadas no modelo foram: engaste na base e carregamento de 287,5MPa, que corresponde a 2.300 N de força na parte superior da haste (Figura 2).

## 3 RESULTADOS

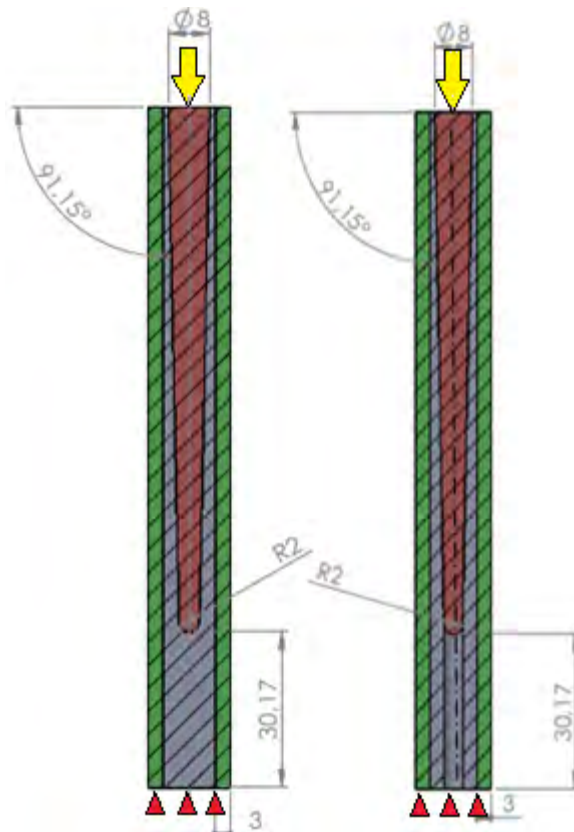
Os resultados das simulações podem ser divididos em duas partes.

### 3.1 Interface Colada

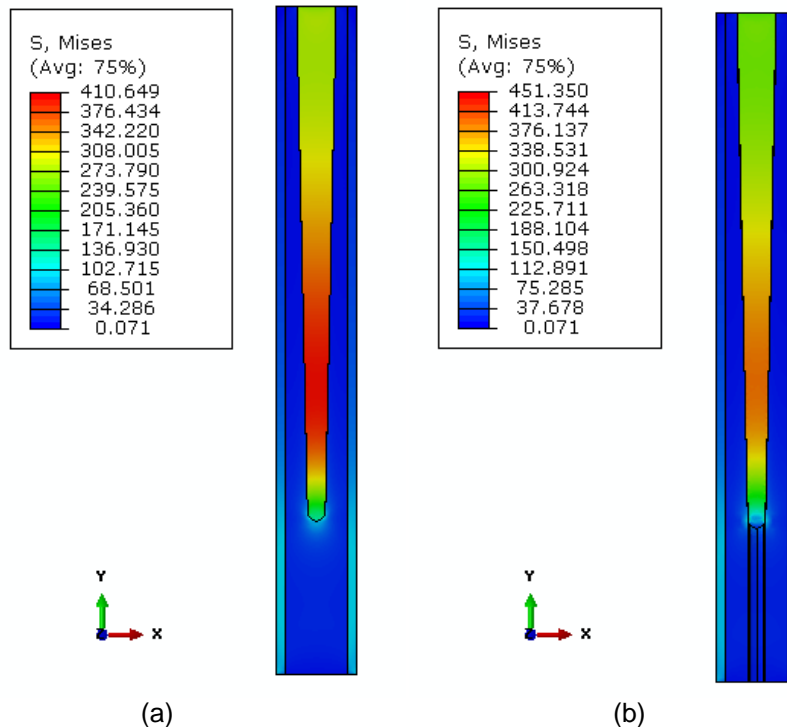
Os resultados encontrados para as simulações com interface colada são representados na Figura 3. A partir da análise desses resultados é observado que em ambos os casos há uma elevação da tensão na altura medial da haste devido à geometria cônica que decresce ao abordar a ponta da haste (Figura 4). Dessa maneira, a ausência de suporte distal praticamente não alterou o valor e a distribuição de tensões ao longo da haste.

### 3.2 Interface com Atrito

As Figuras 4 e 5 mostram os resultados da simulação sob as duas condições de geometria com atrito estático de 0.15. Pode-se perceber que houve uma concentração de tensão na região de contato entre a haste e o suporte distal (Figura 4). Já no modelo sem suporte houve uma maior distribuição de tensão com uma leve concentração na região distal. Logo, através da análise do gráfico da Figura 5, que representa a situação com a interface em atrito estático nas duas geometrias analisadas foi observado uma diferença significativa entre os dois diferentes casos, onde na simulação com o suporte as tensões de Von Mises aumentam ao longo da haste, enquanto na simulação sem o suporte as tensões de Von Mises diminuem. Além disso, a curva que retrata as tensões na haste sem suporte mostram tensões médias bem menores.



**Figura 2.** Representação das construções para a simulação numérica. O cilindro externo representa o tecido ósseo (fêmur), o material intermediário representa o cimento ósseo (PMMA) e o cone maciço representa a haste. As construções são engastadas na base e uma carga vertical é aplicada comprimindo a haste sobre o restante do conjunto. Em (a) hastecom o suporte distal de cimento ósseo e em (b) hastesem o suporte.



**Figura 3.** Modelo com interface colada. a) com suporte; b) sem suporte.

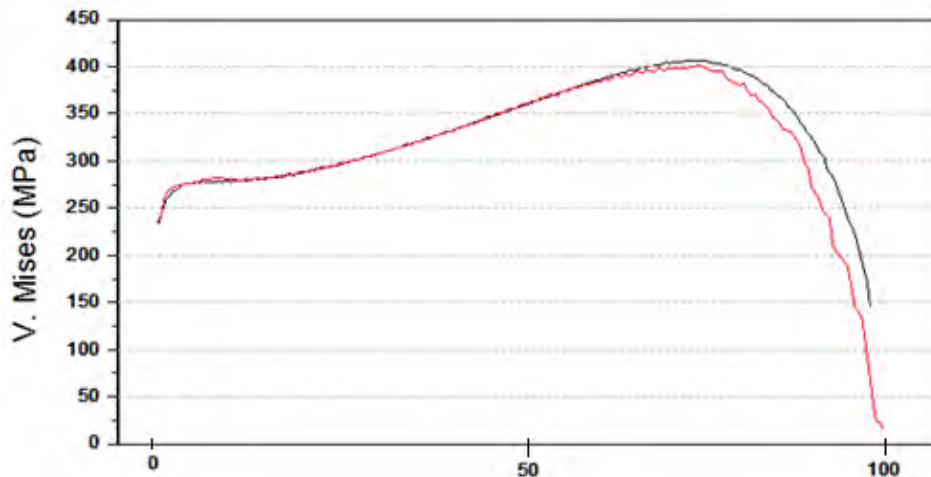


Figura 4. Curva da tensão ao longo do comprimento da haste. Em preto, tensões da simulação com suporte e em cinza, tensões sem suporte em interface colada.

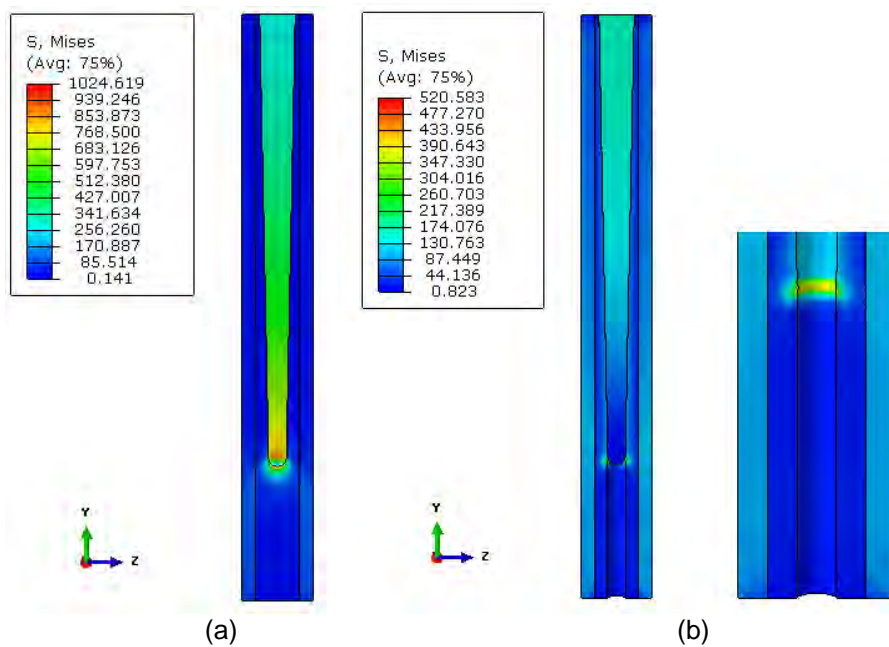


Figura 5. Modelo com atrito. a) com suporte; b) sem suporte.

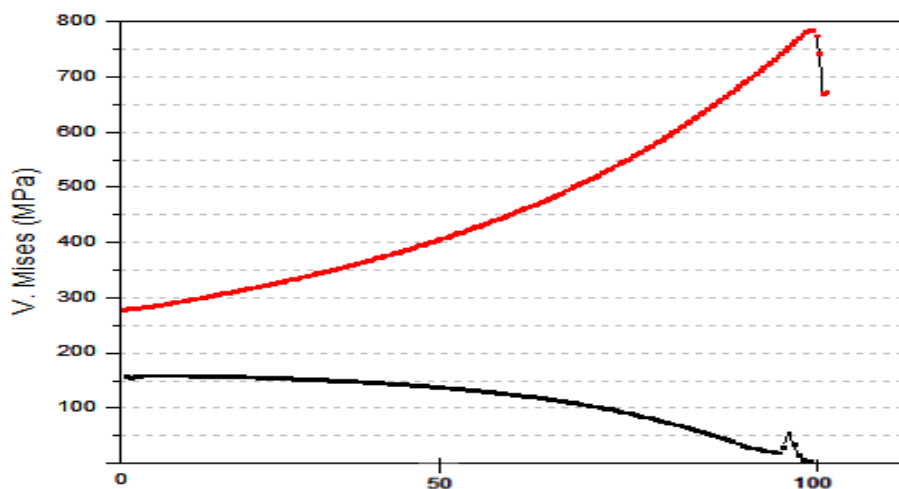


Figura 7. Curva da tensão ao longo da prótese. Em preto, tensões da simulação com suporte e em vermelho, tensões sem suporte com a interface com atrito estático.



## 4 DISCUSSÃO

A artroplastia total de quadril é uma técnica muito empregada para corrigir problemas devidos a doenças degenerativas e fraturas graves do fêmur. Apesar de ser uma técnica empregada a mais de 40 anos, ainda existem alguns desafios em relação ao desenvolvimento de projetos que sejam capazes de resistir sem a necessidade de correções (revisões) acima de 12 anos. Portanto, estudos que tratem do desempenho mecânico da artroplastia devem ser incentivados. Uma questão que ainda não tinha solução disponível na literatura é sobre a mudança de tensões na interface entre a haste metálica e o cimento em função de diferentes condições de suporte distal. Este estudo específico é importante pois em certos casos na prática clínica é possível ocorrer a ausência do suporte por deficiências na cimentação. Além disso, estudos sobre a distribuição de tensões na reconstrução tem sido realizados com a ausência do suporte distal.<sup>(1,2)</sup> Então este estudo foi importante para verificar até em que nível a ausência do suporte pode prejudicar a artroplastia em si e as análises também.

A partir dos resultados obtidos pelas simulações pode ser observado que a geometria cônica, muito empregada em hastes para artroplastia total do quadril cimentada, é capaz de distribuir as tensões ao longo do cimento, que sustenta a haste através do mecanismo de montagem sob pressão. Além disso, pode-se observar que a ausência de suporte distal não é significativa em uma situação onde há adesão interfacial entre a haste e o cimento. A ausência de suporte distal torna-se significativa quando da aplicação de um coeficiente de atrito, ou seja, quando é previsto o deslizamento da haste em relação ao cimento.

Na prática clínica, considera-se que uma haste lisa e polida submetida a montagem sob pressão sobre o cimento comporta-se como se tivesse superfície colada ao menos em curto prazo. A fluência do cimento permite, em instantes intercalados com o passar do tempo, o deslizamento, ou micromovimento, da haste para se ajustar novamente ao cimento. Esse mecanismo foi denominado de *stick-slip*.<sup>(3)</sup> Então, para a maior parte da vida da artroplastia espera-se que as superfícies estejam mecanicamente bem aderidas e o suporte distal não deve influenciar na distribuição de tensões da interface. Entretanto, deve-se considerar com cuidado os picos de tensão provocados pelo mecanismo de deslizamento, pois estes picos de tensão podem provocar fadiga de baixo ciclo do cimento.

## 5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos pelas simulações pode ser observado que a geometria cônica, muito empregada em hastes para artroplastia total do quadril cimentada, é capaz de distribuir as tensões ao longo do cimento, que sustenta a haste através do mecanismo de montagem sob pressão. Além disso, pode-se observar que a ausência de suporte distal não é significativa em uma situação onde há adesão interfacial entre a haste e o cimento e torna-se significativa quando da aplicação de um coeficiente de atrito, ou seja, quando é previsto o deslizamento da haste em relação ao cimento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem as agências financiadoras Capes, Finep, CNPq e Fapitec.

## REFERÊNCIAS

- 1 Cervieri, A., **Desenvolvimento de método para avaliação de deformações associadas a diferentes geometrias e tamanhos de hastes de quadril cimentadas**, Ph.D. dissertation, UFRGS, 2006.
- 2 Wilson L. J., Roe J. A., Percy M. J., Crawford R. W., **Shortening Cemented Femoral Implants, An In Vitro Investigation to Quantify Exeter Femoral Implant Rotational Stability vs Simulated Implant Length**, J Arthroplasty 2012; 27:934.
- 3 Huiskes, R., Boeklagen, R., (1989) **Mathematical shape optimization of hip prosthesis design**, Journal of Biomechanics, v.22, no8/9, pp.793-804.
- 4 Hedia, H., S., Barton, D., C., Fisher, J., Elmidany, T., T., (1996) **A method for shape optimization of a hip prosthesis to maximize the fatigue life of the cement**, Med. Eng. & Physics, v.18, pp.647-654.
- 5 Estok, D., M., Harris, W., H., (2000) **A stem design change to reduce peak cement strains at the tip of cemented total hip arthroplasty**, Journal of Arthroplasty, 15, n0 5, pp.584-589.
- 6 Katoozian, H., Davy, D., T., (2000) **Effects of loading conditions and objective function on three-dimensional shape optimization of femoral components of hip endoprotheses**, Medical Engineering & Physics, 22, pp.243-251.
- 7 Abdullah A H., Asri M N. M, Alias M S. and Giha T, (2010), **Finite Element Analysis of Cemented Hip Arthroplasty: Influence of Stem Tapers**, Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2010 V.III. IMECS 2010, Hong Kong.