



Simulação de Perda de densidade óssea em implantes dentários de Ce-TZP/Al₂O₃

Pedro Araújo da Costa Ward¹; Thielly Machareth Ward¹; Claudinei dos Santos¹; Luciano Pessanha Moreira¹.

¹Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, Universidade Federal Fluminense.

Palavras chave: *Implantes dentários, Compósitos Ce-TZP/Al₂O₃, Método de Elementos Finitos, Critério Mohr -Coulomb.*

INTRODUÇÃO

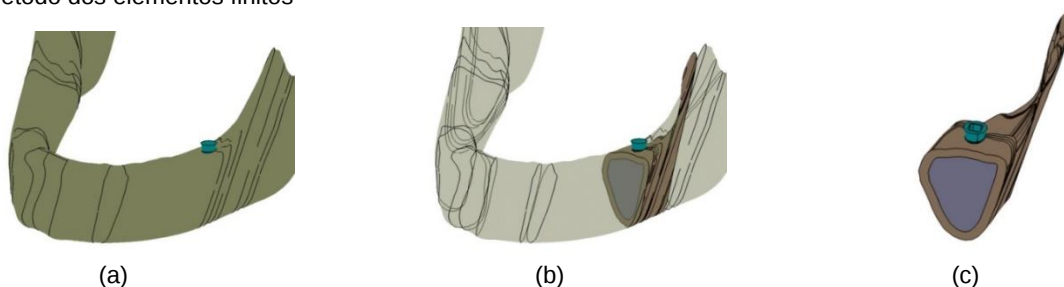
O osso é um órgão capaz de sofrer mudanças de comportamento mecânico em relação a um número de fatores, incluindo hormônios, vitaminas, e influências mecânicas externas. Entretanto, parâmetros biomecânicos, como a duração de estado edêntulo, são predominantes¹. Estudos mostraram que após os 50 anos de idade, há um aumento significativo de porosidade de osso cortical de um homem adulto, levando à diminuição de massa óssea. A perda de minerais ósseos foi estimada de aproximadamente 1,5% ao ano em mulheres e 0,9% em homens².

Este estudo tem por finalidade avaliar a alteração da resposta mecânica de um implante dentário de geometria comercial de Ce-TZP/Al₂O₃ em função da perda de densidade óssea e consequentemente do módulo de elasticidade com o envelhecimento. Isto será feito através do método dos elementos finitos (MEF) considerando o critério de falha de Mohr-Coulomb para materiais frágeis por se tratar de um compósito cerâmico.

METODOLOGIA

A geometria avaliada e discretizada com a malha de elementos finitos foi a região da mandíbula do 3º molar com implante comercial, conforme Figura 1, como forma de simplificação do modelo, considerando suas extremidades fixas. Uma carga mastigatória de 500 N foi aplicada longitudinalmente à face superior do implante.

Figura 1 – Geometria da mandíbula: (a) Mandíbula completa; (b) Destaque da região avaliada; (c) Geometria simplificada avaliada no método dos elementos finitos



Fonte: Próprio autor.

O critério de falha de Mohr-Coulomb utilizado consiste em, através do círculo de Mohr, criar uma região ou envelope de risco de falha, obtida através de duas retas tangentes entre os círculos dos limites de ruptura a compressão e a tração⁴. Esta área pode ser definida pela Equação 1. As propriedades necessárias para o implante e mandíbula são descritas na Tabela 1.

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{ut}} + \frac{\sigma_3}{\sigma_{uc}} \right) \leq 1 \quad (\text{Equação 1})$$

Tabela 1 – Propriedades mecânicas dos materiais utilizados nas simulações numéricas.

Material	Módulo de Young "E" (MPa)	Coefficiente de Poisson "ν"	Limite de ruptura à flexão "σ _{ut} " (MPa)	Limite de ruptura à compressão "σ _{uc} " (MPa)	Ref.
Osso cortical	30000	0,33	-	-	[5]
Osso esponjoso	500	0,33	-	-	[5]
Ce-TZP/Al ₂ O ₃	228300	0,25	953	2100	[6]

Fonte: Próprio autor.

A correlação entre módulo de Young e porosidade pode ser estipulada assumindo-se geometria esferoidal dos poros, bem como assumindo que o coeficiente de Poisson do material não se altera significativamente com a porosidade, conforme Equação 2 abaixo. Sendo $E(P)$ e E_0 o módulo de elasticidade do corpo poroso e inicial (sem poros) respectivamente, P é a porosidade absoluta dos corpos e s um fator experimental dependente dos poros, aqui considerado como 1, para orientação estatística dos poros³.

$$E(P) = E_0(1 - P^{2/3})^s \quad (\text{Equação 2})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando um aumento de porosidade de 0,9% ao ano, os valores obtidos para módulo de elasticidade, conforme Equação 2, se encontram na Tabela 2. Os resultados do critério de Mohr Coulomb podem ser visualizados na Tabela 3. Apesar do aumento de porosidade tender para o aumento do fator de segurança, ele continua muito inferior ao limite estabelecido pelo método ($MC \leq 1$). Na Figura 2 temos a distribuição de tensões para o caso com a pior porosidade (80 anos).

Tabela 2 – Variação do módulo de elasticidade das duas camadas ósseas de acordo com o envelhecimento.

Idade (Anos)	Integridade (%)	P	P _{abs}	E Osso Cortical (MPa)	E Osso Esponjoso (MPa)
50	100,00	0,000	0,000	30.000,00	500,00
55	95,58	4,420	0,044	26.249,83	437,50
60	91,36	8,644	0,086	24.135,00	402,25
65	87,32	12,682	0,127	22.427,46	373,79
70	83,46	16,541	0,165	20.960,12	349,34
75	79,77	20,230	0,202	19.661,75	327,70
80	76,24	23,755	0,238	18.493,01	308,22

Fonte: Próprio autor.

Tabela 3 – Resultados do critério de falha de Mohr-Coulomb para implante comercial de Ce-TZP/Al₂O₃ com o passar dos anos.

Idade	50 anos	55 anos	60 anos	65 anos	70 anos	75 anos	80 anos
Mohr-Coulomb	0,1951	0,2007	0,2041	0,2069	0,2094	0,2116	0,2137

Fonte: Próprio autor.

Figura 2 – Distribuição de tensões pelo critério de falha de Mohr Coulomb com as propriedades calculadas para 80 anos.



Fonte: Próprio autor.

CONCLUSÕES

Apesar da degradação das propriedades ocorrerem ao longo dos anos, não necessariamente há variações significativas nos resultados (inferiores a 30% do critério estabelecido), aumentando a confiabilidade mecânica do compósito Ce-TZP/Al₂O₃ em aplicações odontológicas.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Fábio Costa pela concessão de arquivos de mandíbula humanas utilizada nas simulações e aos órgãos de fomento FAPERJ e CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] RESNIK, R. R. **Misch's Contemporary Implant Dentistry**, 4th ed, Elsevier, 2021.
- [2] PELED, M. *et al.* Dental implants in patients with type 2 diabetes mellitus: a clinical study. **Implant Dentistry**, v. 12, n. 2, p116–122, 2003.
- [3] BOCCACCINI, A. R. *et al.* On the Effective Young's Modulus of Elasticity for Porous Materials: Microstructure Modelling and Comparison Between Calculated and Experimental Values, **Journal of the Mechanical Behavior of Materials**, v. 4, p. 119 - 128, 1993.
- [4] YOUNG, W. C.; BUDYNAS, R. G. **Roark's Formulas for Stress and Strain**. 7th ed, New York: McGraw-Hill, 2002.
- [5] DAGUANO, J. **Biovidros e vitrocerâmicos bioativos do sistema 3CaO.P₂O₅-SiO₂-MgO para aplicações biomédicas**: processamento e caracterizações estruturais, mecânicas e biológicas. 2011. Tese (Doutorado em Materiais metálicos, Cerâmicos e Poliméricos) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011.