

Aplicação do Método de Elementos Finitos em Odontologia: análise das publicações científicas de 1999 a 2008

Finite Element Method application in Dentistry: analysis of scientific production from 1999 to 2008

Bruno Rocha da Silva¹

Francisco Ilson da Silva Júnior²

José Jeová Siebra Moreira Neto³

Andréa Sílvia Walter de Aguiar⁴

1 - Acadêmico do Curso de Odontologia da Universidade Federal do Ceará –

Afiliação à Universidade Federal do Ceará
2- Pós-Doutor em Engenharia pela École Nationale Supérieure de Techniques Avancées – Afiliação à Universidade Federal do Ceará

3- Doutor em Ciências Odontológicas pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP – Afiliação à Universidade Federal do Ceará

4- Doutora em Odontologia pela Faculdade de Odontologia de Pernambuco – UPE – Afiliação à Universidade Federal do Ceará

Correspondência:

Rua Dr. José Lourenço nº 2870 aptº 601
– Joaquim Távora – CEP: 60115-282 –
Fortaleza/CE – Telefone: (85) 32472632/
(85) 91038382 – E-mail:
bruno_rocha747@hotmail.com

RESUMO

O Modelo de Elementos Finitos (MEF) constitui-se de uma ferramenta de amplo uso nas engenharias, que permite, em computador, simular condições específicas em um material e determinar sua resposta para aquelas condições. O objetivo do presente trabalho é investigar a produção científica da aplicação do MEF em Odontologia, e analisar quais áreas odontológicas que mais utilizaram o MEF em seus estudos e qual o perfil dessas publicações. Realizou-se uma pesquisa de artigos científicos integrando periódicos indexados na base de dados Pubmed. Os critérios de inclusão estabelecidos foram: a) Tempo – de 1999 a 2008; b) Descritores – elemento x finito x odontologia; c) Língua – portuguesa, inglesa, francesa e espanhola; obtendo assim um total de 747 artigos. Os resumos das publicações foram classificados nas seguintes categorias: Biênio; Natureza geral dos estudos – artigo original ou de revisão; Áreas de abrangência – ciências básicas (Anatomia e Metodologia de Estudo) ou ciências conexas (19 especialidades reconhecidas pelo Conselho Federal de Odontologia). As variáveis estudadas foram correlacionadas e o teste Qui-quadrado foi aplicado. Houve notadamente um crescimento de estudos utilizando o MEF ao longo dos anos em ambas as áreas científicas de abrangência e que o perfil dos estudos foi o de análise de tensões em tecidos adjacentes (na área conexa) e biomecânica da articulação têmporo-mandibular (na área básica). Pode-se concluir com este estudo que a utilização do MEF é de crescente importância para a pesquisa odontológica devido a sua aplicabilidade, versatilidade e fidedignidade de resultados.

Palavras-chave: Pesquisa em Odontologia; Biologia computacional; Tecnologia.

ABSTRACT

The Finite Element Model (FEM) consists of a tool of ample use in engineering, that allows, in computer, to simulate specific conditions in a material and to determine its reply for those conditions. The objective of the present work is to investigate the scientific production of the application of the FEM in Dentistry, and to analyze which dentistry areas that had used the FEM in its studies the most and which is the profile of these publications. A scientific article research was become fulfilled by integrating indexed periodicals in the international database Pubmed. The established criteria of inclusion had been: a) Time - from 1999 to 2008; b) Describers - element x finite x dentistry; c) Language - Portuguese, English, French and Spanish; thus getting a total of 747 articles. The summaries of the publications had been classified in the following categories: Biennium; General nature of the studies - original article or review articles; Scientific Range Areas - basic sciences (Anatomy and Methodology of Study) or connected sciences (19 recognized specialties for the Federal Council of Dentistry). The variables studied had been correlated and the Qui-square test was applied. The FEM throughout the years in both scientific range areas had a growth of studies and that the profile of the studies involves the analysis of tensions in adjacent tissues (in the connected area) and the biomechanics of the têmporo-mandibular joint (in the basic area). It can be concluded with this study that the use of the FEM is of increasing importance for the dentistry research which had its applicability, versatility and loyalty of results.

Key words: Dental Research; Computational Biology; Technology

INTRODUÇÃO

Na contemporaneidade, a pesquisa científica constitui-se em uma ferramenta

para a obtenção de conhecimentos, para a elaboração de diagnósticos, para a mensuração de necessidades, expectativas e motivações das populações¹. Com o rápido

avanço e desenvolvimento da tecnologia, a modelagem com elementos finitos se tornou um instrumento muito importante na pesquisa odontológica, como a simulação de experimentos clínicos de implantes dentais^{2,3,4}, em dentística operatória⁵⁻⁷, em cirurgias⁸⁻¹⁰ e em ortodontia¹¹⁻¹³.

O Modelo de Elementos Finitos (MEF) pode ser definido como um método matemático, no qual um meio contínuo é discretizado (subdividido) em elementos que mantém as propriedades de quem os originou. Esses elementos são descritos por equações diferenciais e resolvidos por modelos matemáticos para que sejam obtidos os resultados desejados^{14,15}.

Esse método é extremamente útil para indicar aspectos mecânicos de biomateriais e tecidos humanos que dificilmente poderiam ser medidos *in vivo*, além da diminuição na quantidade de exames necessários e redução de custos¹⁵ haja vista que a análise estrutural permite a determinação do estresse e tensão resultante de forças externas, pressão, mudanças térmicas e outros fatores¹⁶⁻¹⁸.

Devido à ampliação de novas tecnologias, da necessidade da prática de uma Odontologia Baseada em Evidência, o objetivo do presente trabalho é investigar a produção científica nacional e internacional da aplicação do MEF em Odontologia, publicadas nos últimos 10 (dez) anos (1999-2008), e analisar quais áreas odontológicas que mais utilizam e qual o perfil destas publicações.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, realizou-se uma pesquisa retrospectiva, descritiva, documental de artigos científicos. A pesquisa integrou periódicos indexados na base de dados Pubmed devido a sua grande abrangência de dados. A opção por investigar apenas a referida base de dados representa um recorte metodológico de aproximação para melhor aprofundamento e compreensão sobre a produção científica ao longo do extenso período analisado¹⁹.

Os critérios de inclusão estabelecidos, previamente, foram: a) tempo – selecionados os artigos publicados entre janeiro de 1999 e dezembro de 2008, e esta escolha se deu a partir de um incremento de publicações na área; b) descritores – foi utilizado o recurso de busca avançada cruzando entre si os descritores “elemento”, “finito” e “odontologia”, em que se utilizou o

caractere *booleano* “and”; c) língua – foram incorporadas as publicações nas línguas portuguesa, inglesa, francesa e espanhola. Para cada um dos descritores, foi efetuada a correspondência nas línguas selecionadas. Foram incluídos, então, no estudo 747 (setecentos e quarenta e sete) artigos, acessados diretamente da base de dados elencada, coletados em fevereiro de 2009.

A seguir, todos os resumos das publicações foram lidos e classificados conforme um roteiro de investigação construído para possibilitar tanto a categorização dos artigos quanto a análise quantitativa. Dessa forma, cada artigo foi categorizado de acordo com os seguintes atributos: ano de publicação; nome dos autores; nome do periódico; língua de publicação; natureza da pesquisa e conteúdo temático abordado. Na sequência dos procedimentos metodológicos abordados, os artigos foram distribuídos dentro das seguintes modalidades de estudos: a) tipo de estudo e b) área científica de abrangência. O Tipo de Estudo se refere à classificação do artigo em revisão bibliográfica ou artigo original, enquanto que a Área Científica de Abrangência considera os artigos em Área Básica ou Área Conexa, em que os de Área Básica constituem-se em temas inerentes da área da saúde em geral, como: Anatomia buco-maxilo-facial, biologia celular e química orgânica. Os estudos classificados dentro da Área Conexa são aqueles que abrangem temas referentes à Odontologia em si levando em consideração o seu enquadramento em uma das 19 especialidades odontológicas²⁰ reconhecidas pelo Conselho Federal de Odontologia (CFO). Tal classificação corresponde a um constructo metodológico que foi estabelecido baseado na atual conformação dos campos disciplinares e temáticos na Odontologia.

Os dados foram digitados e classificados de forma sistemática no *Statistical Package for Social Science* (SPSS) versão 16.0, e a distribuição de frequências foi utilizada para avaliar as características gerais da amostra e também para investigar possíveis erros de digitação de dados brutos.

RESULTADOS

Os resultados desse estudo são apresentados sob forma de tabelas, quadros e gráficos de distribuição de frequência dos atributos investigados, sendo cada atributo

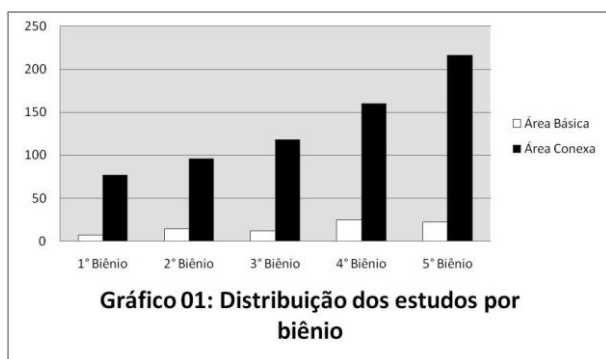
apresentado separadamente. Assim, para cada um dos atributos foi construído um índice descritivo que será discutido na sequência da apresentação dos resultados.

Inicialmente, os 747 resumos lidos foram categorizados em cinco biênios, a saber: 1º biênio: de 1999 a 2000; 2º biênio: de 2001 a 2002; 3º biênio: de 2003 a 2004; 4º biênio: de 2005 a 2006; 5º biênio: de 2007 a 2008.

Tabela 1: Distribuição das publicações científicas de 1999 a 2008, de acordo com a área científica de abrangência, por biênio, 2009.

	Área Básica		Área Conexa		TOTAL	
	N	%	N	%	N	%
1º Biênio	07	0,93	77	10,31	84	11,24
2º Biênio	14	1,87	96	12,85	110	14,72
3º Biênio	12	1,61	118	15,80	130	17,41
4º Biênio	25	3,35	160	21,42	185	24,77
5º Biênio	22	2,95	216	28,91	238	31,86
TOTAL	80	10,71	667	89,29	747	100

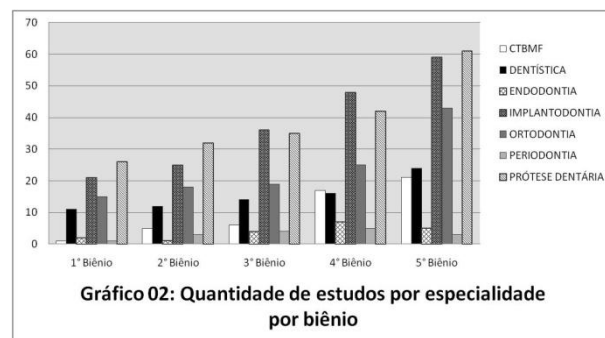
A partir de então, verificou-se a distribuição destes artigos quanto à área científica de abrangência, em que se observou um aumento significativo a cada biênio, como podemos ver no Gráfico 1.



A partir de então, foi realizado um recorte metodológico para agrupar os artigos de acordo com a especialidade odontológica em que a Prótese dentária (196 estudos); Implantodontia (189 estudos) e Ortodontia (120 estudos) foram as especialidades que mais utilizaram o MEF no desenvolvimento de suas pesquisas, visto a seguir pelo Gráfico 2.

Dentro do âmbito das especialidades odontológicas, foi realizado um cruzamento de variáveis dentre os resultados anteriores, obtendo-se um perfil das publicações ao

longo dos biênios, referente ao tipo de publicação e à especialidade odontológica abordada. Este perfil pode ser analisado através da Tabela 2 (ver no final do texto).



De acordo com o catálogo dos artigos científicos encontrados em nosso levantamento, foi realizada uma tabela com os 10 periódicos com maior quantidade de publicações referentes ao uso de elementos finitos em Odontologia. Foi também adicionado o Número Internacional Normalizado para Publicações Seriadas (ISSN) e o fator de impacto de cada periódico a fim de se avaliar o perfil das publicações.

ISSN	PERIÓDICO	N	%	FATOR DE IMPACTO
0021-9290	Journal of Biomechanics	22	2,9	2.784
0905-7161	Clinical Oral Implants Research	29	3,9	2.756
0882-2786	International Journal of Oral and Maxillofacial Implants	30	4,0	1.972
0889-5406	American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics	33	4,4	1.442
0893-2174	The International Journal of Prosthodontics	23	3,1	1.374
0305-182X	Journal of Oral Rehabilitation	65	8,7	1.356
0003-3219	Angle Orthodontist	19	2,5	1.166
0022-3913	Journal of Prosthetic Dentistry	42	5,6	1.139
0141-5387	European Journal of Orthodontics	22	2,9	1.015
0287-4547	Dental Materials Journal	75	10,0	0.713
TOTAL		360	48,1	

Quadro 1: Periódicos que mais publicam estudos referentes a elementos finitos e Odontologia.

DISCUSSÃO

O desenvolvimento do Método dos Elementos Finitos (MEF) teve suas origens no final do século XVIII, quando Gauss propôs a utilização de funções de aproximação para a solução de problemas matemáticos²¹.

Durante mais de um século, diversos matemáticos desenvolveram teorias e técnicas analíticas para a solução de problemas, entretanto, pouco se evoluiu devido à dificuldade e à limitação existente no processamento de equações algébricas²².

O desenvolvimento prático desta análise ocorreu somente muito mais tarde em consequência dos avanços tecnológicos, por volta de 1950, com o advento da informática. Isto permitiu a elaboração e a resolução de sistemas de equações complexas. Em 1956, Turner, Clough, Martins e Topp, ao trabalhar em um projeto de aeronaves para a Boeing, propuseram um método de análise estrutural, similar ao MEF. Mais tarde, em 1960, estes autores utilizaram pela primeira vez o nome de Método dos Elementos Finitos, descrevendo-o. A partir de então, seu desenvolvimento foi exponencial, o qual é aplicado em diversas áreas da Engenharia, Medicina, Odontologia e áreas afins²¹.

No estudo ora proposto pode-se observar, tanto na Tabela 01 quanto no Gráfico 01, um crescimento significativo ao longo dos biênios o que denota tanto um aumento no interesse em estudos que envolvam o MEF quanto na utilização deste para o aprimoramento de técnicas e materiais utilizados em Odontologia. É importante enfatizar ainda o desenvolvimento de tecnologias específicas para o próprio MEF que visem favorecer sua aplicação.

Porém, nota-se na Tabela 02, um maior número de estudos originais e a relativa escassez de artigos de revisão da literatura o que demonstra um acúmulo de produções científicas do tipo primária, de acordo com a divisão dos tipos de publicações feita por Gehlbach²³ em 2002, podendo assim ser considerada como produções de base de conhecimento.

Os estudos referentes à área básica de abrangência foram retirados devido à pequena quantidade de estudos, assim como o interesse deste estudo enfatizar as áreas clínicas e práticas da Odontologia.

Pode ser percebido na Tabela 2 e no Gráfico 2 a distribuição dos artigos em cada especialidade odontológica abordada. Um maior número de estudos nas especialidades da Prótese Dentária, Implantodontia e Ortodontia foi constatado. Isto pode ser atribuído aos princípios mecânicos de engenharia estarem presentes nestas especialidades, favorecendo o uso da modelagem de elementos finitos. Além disso, os estudos referentes a essas especialidades, em particular, necessitam de maior precisão e são de difícil execução *in vivo*, reforçando a necessidade de uso deste método.

Por fim, podem ser visualizados no Quadro 1 os periódicos que mais abordam esta temática. O Fator de Impacto consiste na medida da relevância de um periódico diante da comunidade científica por meio da quantidade de citações que o periódico possui em relação ao número de artigos.

O relativo fator de impacto encontrado nesses periódicos mostra os níveis de pesquisa e trabalhos elevados, contudo, o nível de pesquisas e o número de estudos devem continuar a crescer, haja vista o desenvolvimento tecnológico crescente e o aumento deste método por parte dos profissionais da classe.

Pode-se observar, portanto, após avaliação dos gráficos e tabelas apresentados anteriormente, que o método de elementos finitos tem uma vasta aplicabilidade dentro da Odontologia, ainda que boa parte dessas aplicações ainda não seja explorada devido a fatores como a dificuldade de obtenção de modelos geométricos precisos, a necessidade de *softwares* específicos e por vezes o elevado custo, além da carência de profissionais do ramo da biomedicina para a colaboração conjunta com os profissionais da odontologia a fim de promoverem pesquisas específicas para a profissão.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir com este estudo que o método de elementos finitos se trata de uma ferramenta consistente na Odontologia devido a determinados aspectos em comum entre a mesma e a ciência da engenharia. As publicações referentes às especialidades de Implantodontia, Ortodontia e Prótese Dentária foram os que mais ocorreram e o fizeram em escala crescente.

REFERÊNCIAS

- Cavalcanti AL, Melo TRNB, Barroso KMA, Souza FEC, Maia AMA, Silva ALO. Perfil da Pesquisa Científica em Odontologia Realizada no Brasil. *Pesq Bras Odontoped Clin Integr* 2004; 4: 99-104.
- Georgiopoulos B, Kalioras K, Provatidis C, Manda M, Koidis P. The Effects of Implant Length and Diameter Prior to and After Osseointegration: A 2-D Finite Element Analysis. *J Oral Implantol* 2007; 33: 243-256.
- Goldmann T, Ihde S, Kuzelka J, Himmlova L. Bendable vs. Angulated Dental Implants: Consideration of Elastic and Plastic Material Properties Based on Experimental Implant Material Data and FEA. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub* 2008; 152: 309-316.
- Lan T-H, Huang H-L, Wu J-H, Lee H-E, Wang C-H. Stress Analysis of Different Angulations of Implants Installation: The Finite Element Method. *Kaohsiung J Med Sci* 2008; 24: 138-143.
- Betamar N, Cardew G, Van Noort R. The effect of variations in hourglass specimen design on microtensile bond strength to dentin. *J Adhes Dent* 2007; 9: 427-436.
- Lin CL, Chang YH, Lin YF. Combining structural-thermal coupled field FE analysis and the Taguchi method to evaluate the relative contributions of multi-factors in a premolar adhesive MOD restoration. *J Dent* 2008; 36: 626-636.
- Hsueh CH, Kelly JR. Simple solutions of multilayered discs subjected to biaxial moment loading. *Dent Mater* 2009; 25: 506-513.
- Holberg C, Steinhäuser S, Rudzki I. Surgically assisted rapid maxillary expansion: midfacial and cranial stress distribution. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132: 776-782.
- Savoldelli C, Tillier Y, Bouchard PO, Odin G. Apport de La méthode des éléments finis en chirurgie maxillofaciale. *Rev Stomatol Chir Maxillofac* 2008; 221: 1-7.
- Veziroglu F, Yilmaz D. Biomechanical evaluation of the consolidation period of alveolar distraction osteogenesis with three-dimensional finite element analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2008; 37: 448-452.
- Reimann S, Keilig L, Jäger A, Bourauel C. Biomechanical finite-element investigation of the position of the centre of resistance of the upper incisors. *Eur J Orthod* 2007; 29: 219-224.
- Gracco A, Cirignaco A, Cozzani M, Boccaccio A, Pappalettere C, Vitale G. Numerical/experimental analysis of the stress field around miniscrews for orthodontic anchorage. *Eur J Orthod* 2009; 31: 12-20.
- Chen CS, Hsu ML, Chang KD, Kuang SH, Chen PT, Gung YW. Failure analysis: enamel fracture after debonding orthodontic brackets. *Angle Orthod* 2008; 78: 1071-1077.
- Moura MS. Elaboração de uma ferramenta computacional para modelagem de próteses e ossos através da poroelasticidade acoplada [dissertação]. São Paulo: Universidade Estadual de Campinas; 2007.
- Lotti RS, Machado AW, Mazzeiro ET, Landre Júnior J. Aplicabilidade científica do método dos elementos finitos. *R Dental Press Ortodon Ortop Facial* 2006; 11: 35-43.
- Poiate IAVP, Vasconcellos AB, Andueza A, Pola IRV, Poiate EJ. Three dimensional finite element analyses of oral structures by computerized tomography. *J Biosci Bioeng* 2008; 106: 606-609.
- Wakabayashi N, Ona M, Suzuki T, Igarashi Y. Nonlinear finite element analyses: Advances and challenges in dental applications. *J Dent* 2008; 36: 463-471.
- Tajima K, Chen K-K, Takahashi N, Noda N, Nagamatsu Y, Kakigawa H. Three-dimensional finite element modeling from CT images of tooth and its validation. *Dent Mater J* 2009; 28: 219-226.
- Vasconcelos FAG. Os Arquivos Brasileiros de Nutrição: uma revisão sobre produção científica no Brasil (1944 a 1968). *Cad Saúde Pública* 1999; 15: 303-316.
- Dias AA, Narvai PN, Rêgo DM. Tendência da produção científica em Odontologia no Brasil. *Rev Panam Salud Publica* 2008; 24: 54-60.
- Oliveira EJ. Biomecânica para ortodontistas. Belo Horizonte: Editora Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.
- Gallagher RH. Introduction. In: Finite element analysis: Fundamentals. (4. Ed). Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975. p. 1-19.
- Gehlbach SH. Interpreting the medical literature. New York: McGraw-Hill, 2002.

Tabela 2: Distribuição das publicações científicas de 1999 a 2008, de acordo com a especialidade odontológica, por tipo de estudo, por biênio, 2009

BIÊNIO	CTBMF*				DENTÍSTICA				ENDODONTIA				IMPLANTODONTIA				ORTODONTIA				PERIODONTIA				PRÓTESE DENTÁRIA				TOTAL	
	AO		AR		AO		AR		AO		AR		AO		AR		AO		AR		AO		AR		AO		AR		N	%
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%		
1º Biênio	1	0,1	0	0	11	1,6	0	0	2	0,2	0	0	18	2,7	3	0,4	15	2,4	0	0	1	0,1	0	0	26	3,9	0	0	77	11,5
2º Biênio	5	0,7	0	0	12	1,8	0	0	1	0,1	0	0	24	2,1	1	0,1	18	2,6	0	0	3	0,4	0	0	32	4,8	0	0	96	14,4
3º Biênio	6	0,9	0	0	13	1,9	1	0,1	4	0,6	0	0	36	5,4	0	0	19	2,9	0	0	4	0,6	0	0	35	5,2	0	0	118	17,7
4º Biênio	17	2,5	0	0	16	2,4	0	0	7	1,1	0	0	47	7	1	0,1	25	3,7	0	0	5	0,8	0	0	42	6,3	0	0	160	24,1
5º Biênio	20	3	1	0,1	23	3,5	1	0,1	5	0,8	0	0	59	8,8	0	0	42	6,2	1	0,1	3	0,4	0	0	58	8,7	3	0,4	216	32,3
TOTAL	49	7,3	1	0,1	75	11,2	2	0,2	19	2,8	0	0	184	28	5	0,8	119	17,8	1	0,1	16	2,3	0	0	193	28,9	3	0,4	667	100

CTBMF – Cirurgia e Traumatologia Buco-maxilo-facial; AO – Artigo Original; AR – artigo de Revisão