

CAD-CAM: a informática a serviço da prótese fixa

*André Ricardo Maia CORREIA^a, João Carlos Antunes SAMPAIO FERNANDES^b,
Jorge André Pinto CARDOSO^c, César Fernando Coelho LEAL DA SILVA^b*

*^aMédico Dentista, Doutorando, Faculdade de Medicina Dentária,
Universidade do Porto, Porto - Portugal*

*^bMédico Dentista, Professor Associado com Agregação, Disciplina de Prótese Fixa,
Faculdade de Medicina Dentária, Universidade do Porto, Porto - Portugal*

*^cMédico Dentista, Docente Voluntário, Disciplina da Prótese Fixa,
Faculdade de Medicina Dentária, Universidade do Porto, Porto - Portugal*

Correia ARM, Sampaio Fernandes JCA, Cardoso JAP, Leal da Silva CLC. CAD-CAM: informatics applied to fixed prosthodontics. Rev Odontol UNESP. 2006; 35(2): 183-89.

Resumo: O desenho de uma estrutura protética num computador seguido da sua confecção por uma máquina de fresagem é designado comumente por CAD-CAM. Essa tecnologia tem trazido uma evolução muito grande na Odontologia nos últimos 20 anos com o objetivo principal de otimizar a produção de estruturas protéticas. A evolução dos sistemas CAD-CAM tem sido acompanhada também pela evolução dos materiais, sobretudo da zircônia, a cerâmica mais resistente disponível nessa área. Entre os sistemas CAD-CAM para a Odontologia, este trabalho realça o Cerec[®], o Procera[®], o Lava[®] e especialmente o Everest[®], sistema da Kavo[®] existente na Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto, Portugal.

Palavras-chave: *Prótese parcial fixa; planejamento de prótese dentária; tecnologia odontológica; materiais dentários; zircônio.*

Abstract: The virtual design of a structure, followed by its machining in a milling unit is normally called as CAD-CAM. This technology has evolved greatly in Dentistry in the last 20 years, with the main purpose of optimizing the production of prosthetic structures. Together with the evolution of this systems we can observe the changes in dental materials, specially zirconia, the most resistant ceramic available in Dentistry. Within this CAD-CAM systems this manuscript will focus the Cerec[®], the Procera[®], the Lava[®], and specially the Everest[®], from Kavo[®] corporation, which exists in the Dental Faculty of Porto University, Portugal.

Keywords: *Fixed partial denture; prosthesis design; dental technology; dental materials; zirconium.*

Introdução

O termo CAD-CAM designa o desenho de uma estrutura protética num computador (*Computer Aided Design*) seguido da sua confecção por uma máquina de fresagem (*Computer Aided Manufacturing*). Trata-se de uma tecnologia muito utilizada em várias indústrias e que deve a sua introdução na Odontologia, ao final da década de 70 e início da década de 80 do século passado, a Bruce Altschuler, nos EUA, François Duret, na França, e Werner Mormann e Marco Brandestini, na Suíça. Os objectivos principais dessa tecnologia eram,

então, a automatização de um processo manual de modo a obter material de elevada qualidade, padronizar processos de fabricação e reduzir os custos de produção¹⁻⁴.

Em 1977, Young, Altschuler²⁹ apresentaram a ideia de utilizar a holografia laser para fazer um mapeamento intra-oral. Em 1984, Duret¹ desenvolveu o “*Sistema Duret*” de confecção de coroas unitárias. De acordo com este autor, as principais vantagens dessa técnica eram diminuir a grande dependência manual na fabricação das restaurações

protéticas e, ao mesmo tempo, diminuir os custos. Todavia, o aparelho de Duret era demasiado complexo e dispendioso. O primeiro sistema a ser utilizado e comercializado de forma viável foi o CEREC (CEramic REConstruction), desenvolvido por Morman e Brandestini, em 1980, na Universidade de Zurique, Suíça^{2,4,5}.

Durante os últimos 20 anos, verificou-se um grande desenvolvimento da tecnologia CAD-CAM no que diz respeito à leitura das preparações dentárias (óptica, contato e digitalização laser), aos programas de desenho virtual, aos materiais (como, por exemplo, a alumina, a zircônia e o titânio) e à maquinação das restaurações protéticas, tornando importante a realização de uma revisão sobre alguns sistemas CAD-CAM disponíveis em Odontologia².

Neste trabalho destacaram-se o CEREC[®], o Procera[®] e o Lava[®], pela quantidade de bibliografia disponível sobre os mesmos, e o Everest[®], pelo fato de ser um sistema novo e de existir na Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto.

Revisão da tecnologia CAD-CAM

A tecnologia CAD-CAM tem sido utilizada na Odontologia principalmente na produção de restaurações de prótese fixa como, por exemplo, coroas, pontes e facetas. Várias empresas têm desenvolvido sistemas CAD-CAM de alta tecnologia (Tabela 1), que se baseiam em três componentes fundamentais: sistema de leitura da preparação dentária (*scanning*), software de desenho da restauração protética (*CAD*) e sistema de fresagem da estrutura protética (*CAM* ou *milling*)^{2,6}.

Atualmente, há dois tipos de sistema CAD-CAM segundo a disponibilidade de ceder os arquivos CAD: sistemas CAD-CAM abertos ou CAD-CAM fechados. A vantagem

de um sistema aberto é a possibilidade de poder escolher o sistema CAM mais adequado aos propósitos, pois é possível transmitir o arquivo CAD para outro computador. Os sistemas CAD-CAM fechados oferecem todo o sistema de produção⁶.

Esses sistemas podem ainda classificar-se segundo o local onde são utilizados: clínica ou laboratório. A grande maioria dos sistemas funciona em laboratório; no entanto, o sistema CEREC é o único que apresenta ambas as modalidades: *Chairside*, especialmente para a clínica, e *inLab*, essencialmente para o laboratório.

Previamente à digitalização da estrutura, há algumas considerações a fazer relativas à preparação dental. Além dos pressupostos habituais referentes à espessura do corte e ao material a utilizar, a estrutura dentária remanescente não pode ter ângulos vivos. As estruturas são executadas em cerâmica, e a presença de ângulos vivos induziria linhas de fratura do material. Além disso, o sistema de maquinação da peça protética, sobretudo a forma da ponta da broca e a sua espessura, não consegue reproduzir ângulos desse tipo. Normalmente, a linha de acabamento ideal nesses sistemas é o chanfro largo ou ombro com ângulo interno arredondado⁶.

Sistema de leitura da preparação dentária

A preparação dentária pode ser digitalizada fora da cavidade oral, sobre o modelo de gesso (troquel), ou dentro da cavidade oral, por um sistema de digitalização intra-oral. Embora sejam de aplicação mais prática e mais rápida, os sistemas de digitalização intra-oral ainda não permitem obter imagens suficientemente precisas das relações espaciais, especialmente quando estão envolvidos vários dentes na reabilitação protética. De acordo com Tinschert et al.⁶, no estado atual da tecnologia CAD-CAM, os métodos extra-

Tabela 1. Alguns Sistemas CAD-CAM disponíveis em Odontologia, fabricantes e Website

Sistema	Empresa	Website
CEREC 3D [®] CEREC InLab [®]	Sirona Dental Systems GmbH, Alemanha	www.sirona.com
Procera [®]	Nobelbiocare AB, Suécia	www.nobelbiocare.com
Everest [®]	KaVo Dental GmbH, Alemanha	www.kavo-everest.com
Lava [®]	3MESPE, Alemanha	www.3m.com
DigiDent [®]	Hint-Els GmbH, Alemanha	www.hintel.com
Cercon [®]	Degudent GmbH, Alemanha	www.degudent.com
Evolution 4D [®]	D4D Technologie, EUA	www.d4dtech.com
Etkon [®]	Etkon, Alemanha	www.etkon.com
Precident DCS [®]	DCS, Suíça	www.dcs-dental.com
Pro 50 [®]	Cynovad, Canadá	www.cynovad.com
Wol-Ceram	Wol-Dent, Alemanha	www.woldental.com

Fonte: Tinschert⁶ e Liu²

orais são preferíveis. Todavia, estes métodos apresentam algumas desvantagens, tais como o tempo dispendido e o fato de exigirem uma impressão da preparação dentária, o que também introduz fatores de erro nesse processo.

Desenho assistido por computador (CAD)

Depois de efetuada a digitalização do preparo dental, a imagem é transferida para um programa de desenho assistido por computador, pelo qual o operador pode então desenhar de forma virtual a estrutura protética. Eventualmente, e se necessário, pode ser realizado um enceramento, que é posteriormente digitalizado e tratado pelo *software*. Nesta fase, define-se as linhas de acabamento, o espaçamento e a espessura da restauração a maquinar. Apesar da evolução dos programas de desenho das restaurações protéticas para uma concepção mais facilitada, sobretudo pela introdução do 3D e das bases de dados de estruturas protéticas, presume-se que o operador tenha alguns conhecimentos sobre informática.

Materiais e sistema de fresagem da estrutura protética (CAM)

Os materiais utilizados para a fresagem da estrutura protética são blocos pré-fabricados dos seguintes materiais: cerâmica de vidro reforçada com leucita, alumina reforçada com vidro, alumina densamente sinterizada, Y-TZP Zircônia (*Yttrium-tetragonal zirconia polycrystal*) com sinterização (parcial ou total), titânio, ligas preciosas, ligas não-preciosas e acrílicos de resistência reforçada.

Uma das grandes vantagens da utilização desses sistemas é a possibilidade de trabalhar com materiais muito resistentes, como a zircônia, que, quanto à fabricação manual, é bastante limitada. Atualmente, a zircônia é a cerâmica mais resistente disponível para utilização em Odontologia, razão pela qual foi destacada neste trabalho. Esse material tem o potencial de permitir a construção de pontes em setores de altas tensões, por exemplo em zonas mais posteriores da boca, pois revela uma resistência à fratura muito alta, três a quatro vezes superior à maior carga mastigatória^{2,7,8} (Tabela 2). Num artigo de revisão de 2004, Raigrodsky⁹ refere que foi demonstrada em estudos

in vitro¹⁰⁻¹⁴, uma resistência à flexão de 900 Mpa–1.200 Mpa (1 MPA = 1 N/mm²) em barras de Y-TZP; 1.800–2.000 N em próteses parciais fixas com diferentes conectores (cargas estáticas); e 1.457 N numa simulação de uma carga clínica cíclica de cinco anos sobre uma prótese parcial fixa de três elementos. Apesar de ainda não existirem estudos de longa duração, há trabalhos com um, dois e três anos de duração em que ainda não foi encontrada uma única falha das infraestruturas^{7,15}. Essa alta resistência da zircônia deriva da sua formulação, conhecida como Y-TZP Zircônia. A zircônia (ZrO₂) é uma forma oxidada do metal zircônio, tal como a alumina é referente ao metal alumínio. O óxido de ítrio é um agente que é adicionado à zircônia pura de modo a conferir estabilidade à temperatura ambiente e produzir um material multifásico conhecido como zircônia parcialmente estabilizado pelo ítrio (Y-TZP). Este material tem uma propriedade conhecida como “*transformation toughening*”: sob tensão, o material sofre alteração dimensional, com aumento volumétrico de 3 a 4%, gerando tensões de compressão que inibem a propagação das linhas de fratura tão frequentes nas cerâmicas. Por essa razão, a zircônia é conhecida como “Cerâmica Inteligente”. É uma característica semelhante à ação da junção amelo-dentinária no dente natural. Por outro lado, é de realçar também que referente, à biocompatibilidade e à estética, a zircônia apresenta uma maior valia, comparativamente às restaurações metalocerâmicas^{7,9}. Para a utilização nas máquinas de fresagem dos sistemas CAD-CAM, a zircônia apresenta-se em duas formas⁷:

- Zircônia totalmente sinterizada (dura) - implica um tempo de trabalho demorado (2 a 4 horas para uma unidade) e um desgaste grande com brocas. De acordo com Luthardt et al.¹⁶, o desgaste dessa zircônia com brocas diamantadas pode danificar o material, comprometendo a sua resistência e viabilidade, razão pela qual o autor aconselha a utilização mais favorável da zircônia parcialmente sinterizada¹⁶;
- Zircônia parcialmente sinterizada (zircônia mole) - permite um processamento mais fácil e mais rápido. Todavia, devido à sua condição de parcialmente sinterizada, necessita de 6 a 8 horas em um forno especial

Tabela 2. Materiais cerâmicos e sistemas CAD-CAM

CAD-CAM	Material	Indicações	Resistência à flexão
Procera	1. Alumina	Coroas e pontes (2-4 elementos)	1. > 600 MPa
	2. Zircônia mole		2. > 1000 MPa
CEREC	1. In-Ceram Alumina	Coroas e pontes	1. 500 MPa
	2. In-Ceram Zircônia		2. 750 MPa
Everest	1. Zircônia Mole	Coroas e pontes (até 4-5 elementos)	1. > 1000 MPa
	2. Zircônia Duro		2. > 1200 MPa
Lava	Zircônia mole	Coroas e pontes	> 1000 MPa

Fonte: Liu² e Wotkowski³

de cerâmica para completar a sinterização. Devido a esse processo, verifica-se uma alteração dimensional que tem de ser compensada durante o desenho virtual inicial da estrutura.

Depois de selecionado o material, os blocos pré-fabricados são, então, submetidos a um processo subtrativo de fresagem segundo o número de eixos (3 a 6 eixos), dependendo do sistema em questão. Para terminar a estrutura, são requeridos, além da prova de inserção, o polimento e a individualização das estruturas com cerâmica cosmética^{3,6}.

Sistemas CAD-CAM

CEREC®

Desenvolvido na Universidade de Zurique, o sistema CEREC foi o primeiro sistema CAD-CAM a alcançar êxito clínico e comercial. Por esse sistema é efetuada uma leitura óptica sem contato com a preparação dentária. O método de medição utilizado é o da triangulação ativa, com uma resolução de 25 µm. A imagem 3D gerada é então transferida para um computador, no qual o programa CAD do sistema permite realizar o desenho da estrutura. A linha de acabamento é detectada automaticamente, podendo ser modificada também de forma manual, e é posteriormente executada na máquina de fresagem do mesmo sistema (CAM). Esta unidade apresenta duas brocas diamantadas que cortam a estrutura em quatro eixos de trabalho e com uma reprodutibilidade de corte de aproximadamente 30 µm¹⁷. O fato de o bloco de cerâmica estar seguro num dos lados, impede a ação da broca nessa zona, que é posteriormente fresada manualmente.

O sistema permite a produção de coifas, incrustações, coroas parciais, facetas e coroas totais, para regiões anteriores e posteriores, numa única sessão^{4,5}. De acordo com a informação transmitida pela marca, CEREC® significa atualmente *Chairside Economical Restorations Esthetic Ceramic*⁵. Na realidade, esse é o único sistema que apresenta uma versão para utilização na clínica (CEREC Chairside®), o que o torna muito prático e menos dependente do trabalho no laboratório, podendo traduzir-se também em certa economia financeira (*Economical*). O lançamento de novos produtos, como o CEREC 3D®, o CEREC Chairside® e os blocos de cerâmica *Triluxe*®, vieram compensar defeitos dos anteriores modelos do CEREC® e permitir a construção de restaurações mais estéticas em cerâmica. A introdução do CEREC 3D® permite ao clínico captar várias imagens com maior precisão e, então, criar um modelo virtual, por exemplo, para um quadrante completo. Todavia, de acordo com Tinschert et al.⁶, esta tecnologia do sistema CEREC ainda não possui uma precisão suficiente que permita a sua aprovação para construir próteses fixas de vários elementos. O *Triluxe*® é um novo modelo de blocos de cerâmica (com

três cores) que substitui os antigos blocos mono-cromáticos e que se reflete numa melhoria do potencial estético do sistema⁶. O CEREC InLab® é um sistema de laboratório pelo qual o modelo de gesso da preparação dentária é submetido a uma digitalização laser, sendo depois desenhada a infra-estrutura no computador (CAD) e posteriormente executada a maquinação do bloco de cerâmica. Depois de preparada e verificada a infra-estrutura, o laboratório completa-a com cerâmica cosmética².

Procera®

Até ao momento, o sistema Procera/AllCeram® produziu mais de 5 milhões de unidades protéticas, revelando-se, assim, como um dos sistemas CAD/CAM de maior êxito. Por essa tecnologia, a digitalização do modelo de gesso é feita por contato, por meio de um *scanner* Procera® (Piccolo® – para coroas unitárias, facetas e pilares; Forte® – também para próteses de 2 a 4 elementos)¹⁸. A “ponta digitalizadora” exerce uma pressão pequena de 20 g sobre o modelo de modo a garantir um contato preciso. Apesar de serem efetuadas 50.000 leituras numa só preparação por esse procedimento, o processo demora aproximadamente 30 segundos¹⁹.

A imagem digitalizada (3D CAD) é então enviada para uma central de processamento Procera® (Suécia – Karlskoga e Estocolmo; E.U.A. - Nova Jersey) por meio de uma ligação por modem. Nesta central, são efetuadas réplicas do modelo de gesso mais alargadas, de modo a compensar a contração da cerâmica quando da sua sinterização. Apesar da elevada dificuldade técnica deste último procedimento, uma adaptação marginal das coroas Procera com espaçamento entre 54 µm e 64 µm, está dentro dos parâmetros clinicamente aceitáveis²⁰. As coifas podem então ser produzidas em alumina de alta pureza (0,4 mm de espessura nos casos que exijam uma estética apurada ou 0,6 mm nas restantes indicações) ou em zircônio (0,7 mm quando necessária uma maior resistência do material). Em 48 horas, a coifa está de volta ao laboratório para se proceder à colocação da cerâmica.

A resistência dos materiais utilizados atinge valores altos, que no caso da alumina, são de 687 MPa e, da zircônia, de 1.200 MPa². A preparação dentária exige também uma técnica apropriada, com a execução de linhas de acabamento cervical em chanfro largo, altura cérvico-oclusal do coto de 3 mm e pânticos inferiores a 11 mm, quando em alumina^{2,18}.

Lava®

O sistema Lava® possibilita a fabricação de coroas e pontes de cerâmica anteriores e posteriores. A linha de acabamento cervical das preparações dentárias pode ser um chanfro ou um ombro com ângulo interno arredondado. Nesse sistema, as várias linhas de acabamento das preparações dentárias e a crista edêntula são digitalizadas por um laser óptico que transmite as imagens para um computador,

no qual o programa de desenho assistido do sistema determina automaticamente as linhas de acabamento e sugere os pânticos. Devido à contração da cerâmica durante a sua sinterização, tal como descrito no sistema Procera®, as infra-estruturas são desenhadas com um aumento de 20% no seu volume. Posteriormente, são utilizados blocos de zircônia pré-sinterizada na fresagem, observando-se que o sistema é capaz de produzir até 21 coifas ou estruturas de pontes sem qualquer intervenção manual. Os blocos de zircônia utilizados podem ser coloridos com sete tons de cor previamente à sinterização final, o que pode conferir altos níveis estéticos. Para completar a sinterização, o sistema LAVA® inclui um forno especial de alta temperatura^{2,21,22}.

Everest®

É um sistema que inclui uma máquina de digitalização, um *software* CAD, uma máquina de fresagem e um forno para sinterizar a cerâmica (Figura 2). A digitalização do modelo de gesso (anti-reflexo) é feita por uma leitura óptica através de uma câmara CCD (dimensão real 1:1 e precisão de 20 µm), sendo a imagem 3D criada através de 15 seqüências de projeção. A restauração protética é então desenhada num *software* CAD, e posteriormente fresada segundo movimentos de corte de cinco eixos (Figura 3), em blocos de vários tipos de materiais: zircônia parcialmente sinterizada - *ZS-Blanks*; zircônia totalmente sinterizada - *ZH-Blanks*), titânio (Grau 2 - *T-Blanks*) e cerâmica de vidro reforçada com leucite.

O número de eixos da unidade de fresagem é um dos parâmetros que mais influi na capacidade de detalhe geométrico das restaurações. Aparelhos com maior número de eixos permitem que as brocas possam assumir mais posições de acordo com o bloco e assim produzir maiores detalhes. Convém ressaltar que a forma de suportar o bloco nas unidades CAM vai, também ter influência no número de eixos. Por exemplo, no sistema CEREC, os blocos são sempre seguros por um elemento de suporte de um dos lados do bloco, o que impede a ação da broca nessa zona (Figura 1). O sistema Everest® introduziu o conceito de suporte através de resina acrílica (Figura 4), permitindo, desse modo, a total liberdade de movimentação das brocas em torno da restauração. Embora isso seja uma vantagem em termos de capacidade geométrica, torna o sistema mais lento, pois exige uma intervenção manual no meio do processo de fresagem para nova colocação de resina acrílica de suporte.

A máquina de fresagem permite a confecção de estruturas com dimensão máxima de 45 mm^{2,23} (Figura 5). A fresagem das estruturas pode demorar de 2 a 4 horas para a coroa no caso de zircônia dura e cerca de 20 minutos no caso da zircônia mole, com posterior sinterização de 8 horas.

Recentemente, a marca passou a disponibilizar nos seus blocos de zircônia *ZS-Blanks* a possibilidade de serem

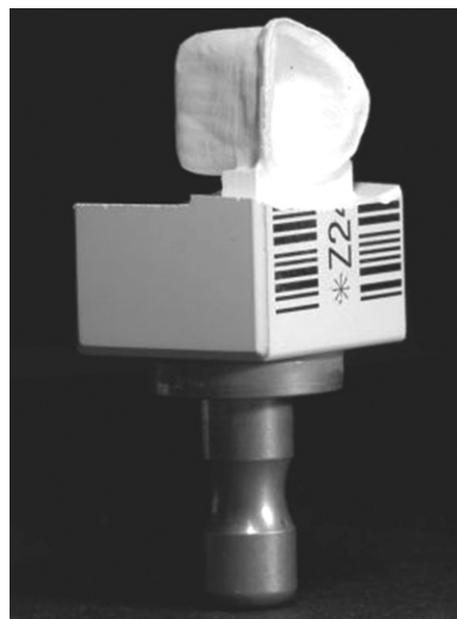


Figura 1. Estrutura de fixação do bloco de cerâmica no sistema CEREC (Foto: Cortesia do Laboratório Mimetik, Penacova, Coimbra, Portugal).

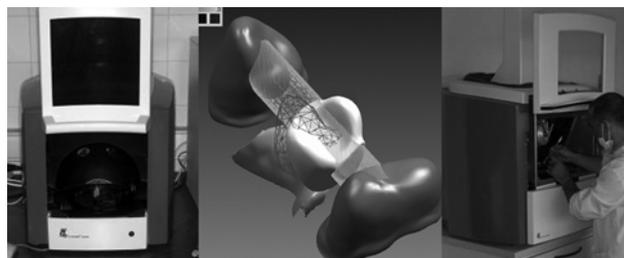


Figura 2. Unidade de leitura; Software CAD; e Unidade de processamento (CAM).



Figura 3. Detalhe da unidade de processamento.

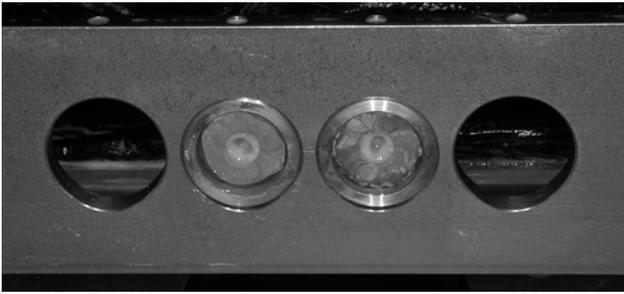


Figura 4. Situação dos blocos no sistema Everest após 50% do processo de fresagem (Nota: nesta fase é necessário aplicar novamente resina acrílica para suportar o bloco quando da fresagem da parte oclusal).



Figura 5. Infra-estrutura de zircônia executada com o sistema Everest®. Prótese fixa anterior (4 elementos).

coloridos com cinco cores da escala VITA, o que aumenta sobremaneira o seu potencial estético²³.

Na Tabela 2 apresentamos uma síntese de materiais, indicações e resistência à flexão de alguns sistemas CAD-CAM.

Sistemas CAD-CAM vs. Técnicas Convencionais

Um dos itens a considerar na avaliação de um sistema CAD-CAM é a precisão das restaurações executadas, pois a adaptação interna e marginal das coifas e das coroas tem de estar dentro dos parâmetros clínicos aceitáveis, i.e., inferior a $100 \mu\text{m}$ ^{2,24}.

A adaptação marginal média das coroas Procera® é, de acordo com May et al.²⁰, de $54 \mu\text{m}$ - $64 \mu\text{m}$. Em 2002,

Ellingsen verificou que a adaptação marginal das coroas executadas com o CEREC 3D® era de $47,5 \mu\text{m} \pm 19 \mu\text{m}$ ²⁵. Bindl, Mormann²⁶, em 2005, estudou a adaptação interna e marginal de coroas de cerâmica executadas pela tecnologia CAD-CAM (Cerec InLab®, Decim®, DCS® e Procera®) e por técnicas convencionais (In-Ceram Zirconia® e Empress 2®) e verificou que não existiam diferenças entre elas. Num estudo efetuado sobre coroas Procera All Ceram®, Kokubo et al.²⁷, também em 2005, encontrou resultados aceitáveis do ponto de vista clínico. No mesmo ano, Reich et al.²⁸ estudaram a adaptação marginal de próteses fixas de três elementos, fabricadas com três tipos de sistemas CAD-CAM (Digident®, Cerec InLab® e Lava®), e não encontraram diferenças significativas comparativamente a coroas metalo-cerâmicas convencionais, com exceção do sistema Digident®. Contudo, todos os resultados eram viáveis de um ponto de vista clínico.

Convém destacar que não foi encontrada uma única referência bibliográfica na *Medline*® sobre o sistema Everest®.

Considerações finais

A Odontologia atual exige padrões de qualidade muito superiores aos verificados no século passado, sob dois níveis fundamentais: funcionalidade e estética. A implementação da tecnologia CAD-CAM, com seus diversos sistemas, ajudará a surtir esse efeito, não no sentido de uma “produção em série” (antes pelo contrário), mas sim num aperfeiçoamento na produção das restaurações, pela utilização do desenho e da confecção, assistidas por computador. O fato de serem tecnologias essencialmente informatizadas exige do clínico e do laboratório uma adaptação das dinâmicas de trabalho de forma a rentabilizar o investimento efetuado.

Esses sistemas permitirão ainda trabalhar com materiais muito resistentes, como a zircônia, pois os estudos apresentados ao longo deste trabalho fornecem boas indicações, científicas e clínicas, no sentido da zircônia poder substituir completamente o metal nas infra-estruturas protéticas. Contudo, deve haver alguma prudência no caso de próteses posteriores, uma vez que, embora haja estudos favoráveis, estes são muito recentes.

Referências

1. Duret F, Blouin JL, Duret B. CAD-CAM in dentistry. J Am Dent Assoc. 1988; 117:715-20.
2. Liu PR. A panorama of dental CAD/CAM restorative systems. Compendium. 2005;26:507-16.
3. Witkowski S. (CAD-)/CAM in dental technology. Quintessence Dent Technol. 2005;28:169-84.
4. Mormann WH. The origin of the Cerec method: a personal review of the first 5 years. Int J Comput Dent. 2004;7(1):11-24.

5. Sirona The Dental Company. CAD/CAM Systems [citado em 2005 Nov 20]. Disponível em: <http://www.sirona.com>
6. Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, Spiekermann H. Status of current CAD/CAM technology in dental medicine. *Int J Comput Dent.* 2004;7(1):25-45.
7. McLaren EA, Giordano II RA. Zirconia-based ceramics: material properties, esthetics, and layering techniques of a new veneering porcelain, VM9. *Quintessence Dent Technol.* 2005;28:99-111.
8. Raigrodski AJ. Contemporary materials and technologies for all-ceramic fixed partial dentures: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2004;92:557-62.
9. Raigrodski AJ. Contemporary all-ceramic fixed partial dentures: a review. *Dent Clin North Am.* 2004;48:531-44.
10. Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN. Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia. *J Biomed Mater Res.* 1989;23:45-61.
11. Hauptmann H, Suttor D, Frank S, Hoescheler H. Material Properties of All Ceramic Zirconia Prosthesis [abstract 2910]. *J Dent Res.* 2000; 79:507.
12. Rountree P, Nothdurft F, Pospiech P. In-vitro investigations on the fracture strength of all-ceramic posterior bridges of ZrO₂-ceramic [abstract]. *J Dent Res.* 2001; 80:57.
13. Suttor D, Hauptmann H, Frank S, Hoescheler S. Fracture resistance of posterior all ceramic zirconia bridges [abstract]. *J Dent Res.* 2001;80:640.
14. Tinschert J, Natt G, Mautsch W, Augthun M, Spiekermann H. Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: a laboratory study. *Int J Prosthodont.* 2001;14:231-8.
15. Filser F, Kocher P, Weibel F, Luthy H, Scharer P, Gauckler LJ. Reliability and strength of all-ceramic dental restorations fabricated by direct ceramic machining (DCM). *Int J Comput Dent.* 2001;4(2):89-106.
16. Luthardt RG, Holzhuber MS, Rudolph H, Herold V, Walter MH. CAD/CAM-machining effects on Y-TZP zirconia. *Dent Mater.* 2004;20:655-62.
17. Sirona Dental Systems GmbH. CEREC 3 - CEREC Scan - Instrucciones de uso de la Unidad de tallado. 1-54. 2004.
18. Nobel Biocare. Nobel esthetics [citado em 2005 Nov 20]. Disponível em: <http://www.nobelbiocare.com>.
19. Brunton PA, Smith P, McCord JF, Wilson NH. Procera all-ceramic crowns: a new approach to an old problem? *Br Dent J.* 1999;186:430-4.
20. May KB, Russell MM, Razzoog ME, Lang BR. Precision of fit: the Procera AllCeram crown. *J Prosthet Dent.* 1998;80:394-404.
21. 3MESPE. LAVA technical product profile [citado em 2005 Nov 20]. Disponível em: <http://www.3m.com>.
22. 3MESPE. Hardware brochure [citado em 2005 Nov 20]. Disponível em: <http://www.3m.com>
23. Kavo-Everest. Everest CAD/CAM System [citado em 2005 Nov 20]. Disponível em: <http://www.kavo-everest.com>.
24. Andersson M, Carlsson L, Persson M, Bergman B. Accuracy of machine milling and spark erosion with a CAD/CAM system. *J Prosthet Dent.* 1996;76:187-93.
25. Ellingsen LA, Fasbinder DJ. In vitro evaluation of CAD/CAM ceramic crowns. *J Dent Res.* 2002;81:331.
26. Bindl A, Mörmann WH. Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil.* 2005;32:441-7.
27. Kokubo Y, Ohkubo C, Tsumita M, Miyashita A, Vult VS, Fukushima S. Clinical marginal and internal gaps of Procera AllCeram crowns. *J Oral Rehabil.* 2005;32:526-30.
28. Reich S, Wichmann M, Nkenke E, Proeschel P. Clinical fit of all-ceramic three-unit fixed partial dentures, generated with three different CAD/CAM systems. *Eur J Oral Sci.* 2005;113:174-9
29. Young JM, Altschuler BR. Laser holography in dentistry. *J Prosthet Dent.* 1977; 38:218-25.

