



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
Campus de Araçatuba

**EMANUEL NOGUEIRA NERY SOUSA**

**Avanço da tecnologia CAD-CAM e sua aplicação no  
processo de confecção dos diferentes tipos de prótese.**

**Araçatuba**

**2023**

**EMANUEL NOGUEIRA NERY SOUSA**

**Avanço da tecnologia CAD-CAM e sua aplicação no  
processo de confecção dos diferentes tipos de prótese.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Odontologia  
de Araçatuba da Universidade Estadual  
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” –  
UNESP, como parte dos requisitos para a  
obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Orientador: Prof. Assoc. Paulo Henrique  
dos Santos

Coorientador: Prof. Ass. Dr. Anderson  
Catelan

**Araçatuba**

**2023**

*Dedico este trabalho à minha família, que são com certeza o grande motivo por eu ter chegado até aqui, sem vocês nada seria possível.*

*Amo vocês!*

## **AGRADECIMENTOS**

### **À Deus, o grande arquiteto do universo**

Por ter me dado força e sabedoria para chegar até aqui. Por ser meu amigo nos momentos difíceis e não ter me permitido desistir diante das tempestades. Obrigado senhor, por toda dádiva na minha vida.

### **A meus pais**

Por terem me dado todo o apoio nessa jornada. Obrigado pai, Dr. Elvy Jesus de Sousa minha inspiração desde criança para seguir o caminho da odontologia, a pessoa que nunca mediu esforços para me colocar onde estou nesse momento. Obrigado mãe, Evandelize Gonçalves Nogueira Sousa, a pessoa mais amorosa que conheço, que nunca deixou de me dar forças, que todas as noites desde o dia que sai de casa para os estudos há 10 anos me liga para saber como estou. Obrigado por terem confiado em mim quando pedi um ano de cursinho para realizar meu sonho de ingressar em uma faculdade pública, sem isso hoje não estaria aqui em uma das melhores faculdades do Brasil e do Mundo.

### **A meus avos**

Primeiramente a meus avos Santino e Divina, obrigado por terem me acolhido no início dessa jornada quando ainda era uma criança com 15 anos e sai de casa para dar segmento a meus estudos. Sem vocês provavelmente não teria aguentado a barra de ficar longe de casa. A meu avô João Tertuliano que sempre demonstrou grande alegria ao ver meu crescimento. A minha avó Izabel, que infelizmente partiu para morar com Deus em 2014, obrigado por sempre aconselhar meus pais na busca do que era melhor para mim, e como eu queria que você estivesse aqui nesse momento para ver sua alegria, mas sei que aí da onde a senhora está nesse momento está muito feliz.

### **A meus padrinhos Zelia e Altamiro**

Obrigado por todo o apoio em meu ano de cursinho, os melhores vizinhos de apartamento que eu poderia ter. Vocês tornaram os dias em que a preção e o medo se alastravam muito mais leves.

### **A minha tia Luzia**

Obrigado por nunca medir esforços para me ver bem e por estar ao lado da minha mãe em momentos difíceis que passei.

### **A minha namorada**

Por sempre estar ao meu lado e me apoiando. Por todas as noites dedicar um tempo para poder me ligar e fazer meu dia mais feliz. Por suportar ao meu lado o desafio da distância.

### **A meus amigos de infância**

Obrigado por todos os momentos felizes que passamos, por terem me dado forças nos momentos que precisava.

### **A meus amigos do cursinho**

Obrigado por tornarem os dias no cursinho mais leves e por terem me ajudado a passar no tão temido vestibular.

### **A meus amigos da faculdade**

Obrigado por todos os momentos que passamos. Espero que essa família que construímos aqui permaneça por toda a vida.

### **A banca**

Meus agradecimentos ao Prof. Paulo Henrique dos Santos por ter aceitado ser meu orientador e por toda ajuda dedicada a este trabalho. Ao Prof. Anderson Catelan por mesmo sem me conhecer ter aceitado assumir um lugar a frente deste trabalho. Ao Prof. Aldiéris Alves Pesqueira por todo o carinho, paciência e ensinamentos nos laboratórios e clínicas de prótese fixa o que me levou a criar um carinho especial por essa matéria. Ao Prof. Celso Koogi Sonoda por toda a paciência, carinho e ensinamentos nas clínicas de Trauma na clinica integrada.

### **A Faculdade de Odontologia de Araçatuba**

Por ter me acolhido e ser minha casa durante todos esses anos da graduação.

Minha eterna gratidão!

*"As coisas só mudam quando nós as mudamos.  
Mas você tem que fazer isso."*

**DARK**

SOUSA, ENN. **Avanço da tecnologia CAD-CAM e sua aplicação no processo de confecção dos diferentes tipos de prótese.** 2023, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2023.

## **RESUMO**

Os sistemas CAD/CAM, Computer-aided design (CAD) computer-aided manufacturing (CAM), são sistemas tecnológicos independentes, mas em grande parte utilizados em conjunto. Na Odontologia, consiste em um fluxo digital capaz de escanear, criar modelos, projetos e por fim confeccionar restaurações e diversos dispositivos utilizados em áreas como prótese (inlay, onlay, overlay, facetas, coroas totais), ortodontia e implantodontia. Seu funcionamento é baseado em três pilares, a digitalização, designer e usinagem. Foi incorporado na odontologia em meados dos anos 1980 e nesses últimos 40 anos seu desenvolvimento e evolução é notório. O presente trabalho consiste em realizar uma abrangente revisão da literatura publicada mostrando uma visão geral da progressão tecnológica do sistema CAD/CAM, bem como o avanço das técnicas, métodos e materiais utilizados para a confecção das peças protéticas. Para isso foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas plataformas indexadas nas bases de dados Google Acadêmico e PubMed sendo incluídos livros, artigos originais e de revisão. Conclui-se que a tecnologia CAD/CAM obteve grandes avanços e sucesso ao longo dos últimos anos, estando em constante evolução; propiciando redução de passos clínicos e tempo de trabalho, além de aumentar a precisão dos tratamentos odontológicos.

**Palavra- chaves:** CAD-CAM. Odontologia. Prótese dentária. Restauração dentária permanente.

SOUSA, ENN. **Avanço da tecnologia CAD-CAM e sua aplicação no processo de confecção dos diferentes tipos de prótese.** 2023, Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Faculdade de Odontologia, Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, 2023.

## **ABSTRACT**

CAD/CAM systems, Computer-Aided Design (CAD), and Computer-Aided Manufacturing (CAM) are independent technological systems but largely used in conjunction. In Dentistry, they are constitute by a digital workflow capable of scanning, creating models, designing, and ultimately fabricating restorations and various devices used in areas such as prosthodontics (inlays, onlays, overlays, veneers, full crowns), orthodontics, and implantology. Their functioning is based on three pillars: digitalization, designing, and machining. They were incorporated into dentistry in the mid-1980s, and over the last 40 years, their development and evolution have been remarkable. This present work aims to conduct a comprehensive review of published literature, providing an overview of the technological progression of CAD/CAM systems, as well as the advancement of techniques, methods, and materials used for the fabrication of prosthetic pieces. To achieve this, bibliographic research was conducted on indexed platforms in databases such as Google Scholar and PubMed, including books, original articles, and reviews. It is concluded that CAD/CAM technology has achieved great advances and success over the last few years, being in constant evolution; providing reduction of clinical steps and working time, in addition to increasing the accuracy of dental treatments.

**Keywords:** CAD-CAM. Dentistry. Dental Prosthesis. Dental Restoration, Permanent.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1: MegaScan

Figura 2: Scanner de bancada Shining3D DS EX-PRO

Figura 3: Scanner InEos Blue X5

Figura 4: Scanner E4

Figura 5: Scanners Ceramill Map 200+ e Ceramill Map 600+

Figura 6: Diferentes scanners. (a) Trios 3, (b) Trios 4, (c) iTero Element, (d) iTero 2, (e) iTero 5D Element, (f) Dental Wings, (g) Panda, (h) Medit i500, (i) Planmeca Emerald™, and (j) Aoralscan.

Figura 7: Classificação das cerâmicas fresadas pela tecnologia CAD/CAM

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Classificação das diferentes opções de scanners odontológicos.

Tabela 2: Alguns Sistemas CAD disponíveis, fabricantes e Website.

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Revisão de literatura</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 Histórico</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 CAD</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3 CAM</b> .....	<b>20</b>
<b>2.4 CAD/CAM na odontologia</b> .....	<b>22</b>
<b>3. Perspectivas futuras</b> .....	<b>24</b>
<b>4. Conclusão</b> .....	<b>25</b>
<b>Referências</b> .....	<b>26</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A odontologia atual apresenta grandes avanços no que diz respeito ao uso de tecnologias digitais como os sistemas CAD/CAM, “computer-aided design” (CAD) “computer-aided manufacturing” (CAM). Apesar dos primeiros trabalhos apresentarem a utilização desses sistemas em âmbito clínico desde meados dos anos 1980, quando o professor da Universidade de Zurich (Suíça), Werner H. Mörmann, desenvolveu o primeiro sistema CAD/CAM odontológico, somente a partir da segunda década dos anos 2000 esses sistemas se tornaram mais presentes na vida do cirurgião dentista, revolucionando o processo de obtenção de próteses dentárias (KAYATT, 2013; VIEIRA, 2022).

Apesar de comumente os sistemas CAD/CAM serem utilizados em conjunto, eles são sistemas tecnológicos independentes. O termo CAD (“Computer aided design” – Desenho auxiliado por computador) refere-se aos sistemas computacionais (“softwares”) utilizados para realização de projetos por meio da sua interface gráfica (FREITAS, 2022). Já o sistema CAM (“Computer aided manufacturing” – Fabricação auxiliada por computador) refere-se a qualquer processo de fabricação controlado por computador (KAYATT, 2013). Esse processo de manufatura digital pode ser caracterizado como manufatura subtrativa (SM) e manufatura aditiva (AM) (FREITAS, 2022) sendo SM processos como usinagem e fresagem e AM processos como impressão 3D.

Na Odontologia, o sistema CAD/CAM resume-se basicamente a três componentes, o “scanner” que irá realizar a leitura virtual de uma determinada estrutura; o software onde será possível realizar o desenho do que será confeccionado sobre a estrutura escaneada, e uma unidade CAM que produzirá a peça desenhada (CRUZ, 2018). O avanço desses sistemas atualmente permite ao cirurgião dentista confeccionar restaurações em uma única sessão clínica devido sua facilidade de manuseio e velocidade nos processos de confecção, além de permitir peças protéticas cada vez mais estéticas e funcionais (CRUZ, 2018), com diminuição das variáveis ligadas aos materiais e ao operador (KAYATT, 2013).

O sistema CAD/CAM atualmente é utilizado em diversas áreas da odontologia como prótese (inlay, onlay, overlay, facetas, coroas totais e próteses fixas), ortodontia e implantodontia. Na área de prótese, a necessidade de realização

de reabilitações de maiores extensões impulsionou também a busca por materiais de maior resistência como, por exemplo, as cerâmicas a base de zircônia. No entanto, devido a exigência estética em alguns casos clínicos, outros materiais esteticamente mais favoráveis passaram a ser desenvolvidos para a tecnologia CAD/CAM, como a cerâmica feldspática, monossilicato e dissilicato de lítio. Com isso, e também devido ao grande número e variedade de marcas comerciais envolvidas com o sistema CAD/CAM, esse tornou-se mais popular e acessível aos cirurgiões dentistas (BERNARDES et al., 2012; OLIVIER, 2016).

Portanto, o objetivo no presente estudo foi realizar uma revisão da literatura a respeito dos avanços da tecnologia CAD/CAM nos processos de confecção de próteses dentárias. Foram analisados livros e artigos presentes nas plataformas PubMed e google acadêmico.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Histórico**

Os sistemas CAD/CAM atualmente apresentam-se bem difundidos e consolidados tanto no meio odontológico como em outras áreas. A engenharia ao longo dos anos vem desenvolvendo os sistemas CAD/CAM para fabricação dos mais variados produtos sendo inicialmente desenvolvido pela indústria aeronáutica e automobilística. Na Odontologia ele é usado com objetivo de diminuir tempo de trabalho, facilitar, automatizar e garantir qualidade de peças protéticas (OLIVIER, 2016). Porém, não é de hoje que esses sistemas estão presentes no mercado tecnológico. Apesar de serem dois sistemas tecnológicos distintos e terem surgido separadamente, cada um para sua finalidade, eles têm seus primeiros relatos aproximadamente no mesmo tempo, o início da década de 1960 (KAYATT, 2013).

O CAD surgiu devido ao empenho de muitas pessoas e instituições que trabalhavam com a ideia de computação gráfica para design. Um sistema chamado Sketchpad desenvolvido pelo Dr. Iva Sutherland no Massachusetts Institute of Technology (MIT) e considerado o pioneiro nesse meio. Ao mesmo tempo, a General Motors Research Laboratories conduzia pesquisas nesse ramo. O Dr. Patrick Hanratty estava envolvido neste projeto da General Motors e posteriormente veio a desenvolver

o primeiro software comercialmente disponível para desenho mecânico chamado Adam. O quadro abaixo resume o processo de desenvolvimento (KAYATT, 2013).

1. Anos 1950	Início de aplicações de computadores em auxílio das engenharias.
2. 1951	Aparecimento dos primeiros terminais gráficos e impressoras
3. 1953	Aparecimento das primeiras impressoras
4. 1958	Dispositivos de aquisição de dados
5. 1962	Primeiro trabalho gráfico em três dimensões
6. 1970	A IBM revoluciona o mercado CAD com a padronização da linguagem gráfica e técnicas computacionais para 3D.
7. 1980	Desenvolvimento de sistemas que interliguem os softwares diretamente à produção.
8. 1990	Desenvolvimento de sistemas operacionais robustos para a aplicação em computadores, redução de custos em hardware e “super” utilizadores especializados.

Fonte: Kayatt FE, 2013

Os sistemas CAM têm seu início nos Estados Unidos com as máquinas de produção automáticas. Elas possuíam partes moveis controladas por cames (peças geométricas complexas). Essas máquinas devido a necessidade de reprogramação dos cames para produção de novos produtos, um processo demorado, vieram a ser substituídas por máquinas com controladores e motores de passo e posteriormente pela manufatura auxiliada por computador (CAM) (KAYATT, 2013).

Na Odontologia a utilização dos sistemas CAD/CAM tornou-se ativa a partir da década de 1980. Sua utilização, no entanto, levou alguns anos para estar disponível em larga escala devido à dificuldade inicial das restaurações construídas pelo sistema estarem no mesmo nível ou superior as construídas por sistemas convencionais, incluindo a obrigatoriedade de digitalização precisa de dente pilar, dente adjacente e dente em oclusão, e a dificuldade em reconhecer a margem de preparos dentais, especialmente quando estes se localizam no interior do sulco gengival (MIYAZAKI et al., 2009).

Podemos considerar três pioneiros no desenvolvimento do CAD/CAM odontológico, o Dr. Duret, o Dr. Moermann e o Dr. Andersson. A partir de 1971 o Dr. Duret, considerado o primeiro a adentrar o campo de CAD/CAM odontológico, começou a fabricar coroas que possuíam a superfície oclusal funcional, para isso ele usava uma série de sistemas que iam desde a impressão óptica do dente pilar até o

desenho de uma coroa funcional ideal e a fresagem da coroa por uma máquina controlada numericamente. Posteriormente ele foi o desenvolvedor do sistema Sopa<sup>®</sup> (MIYAZAKI et al., 2009).

O segundo a apresentar avanços no ramo do fluxo digital na odontologia foi o Dr. Moermann. Ele foi o desenvolvedor do sistema CEREC<sup>®</sup>, o primeiro sistema a ser comercializado, e sua inovação foi trazer todo o processo de fabricação de coroas via fluxo digital para dentro do consultório odontológico, assim possibilitando a entrega de uma peça protética para o paciente em um único dia, um vislumbre do modelo “chairside” atual. O processo de fabricação era basicamente o mesmo, utilizando uma câmera intraoral, media-se o preparo, posteriormente realizava-se o “design” da peça a ser construída e a fresagem do bloco cerâmico sendo a principal diferença o processo ser realizado ao lado da cadeira odontológica (MIYAZAKI et al., 2009).

Por último considerado o terceiro no pioneirismo do CAD/CAM odontológico o Dr. Andersson, desenvolvedor do sistema Procera<sup>®</sup>, desenvolveu no início da década de 1980 um sistema para fabricar estruturas de titânio. Sua ideia foi impulsionada pelo fato de o ouro presente nas ligas de metais nobres apresentar uma elevação drástica em seu preço e ligas com materiais mais baratos como a liga de níquel-cromo serem alérgenos (MIYAZAKI et al, 2009).

Atualmente, a odontologia restauradora tem se baseado em três princípios para o desenvolvimento de novos materiais e técnicas a busca pela estética mais favorável, materiais mais resistentes que possibilitem todos os tipos de reabilitações em todos os pacientes, e por último, simplicidade e rapidez na confecção, pontos que a tecnologia CAD/CAM possibilita (KAYATT, 2013).

## **2.2 CAD**

Os primeiros componentes dos sistemas CAD/CAM são os “scanners”. Esses componentes tem a função de leitura e digitalização que pode ser tanto de modelos em gesso ou da própria cavidade oral do paciente (VIEIRA, 2022). Depois de realizada a leitura e digitalização, a imagem adquirida é transformada em arquivo e transferida para um programa (“software”) de desenho assistido por computador, ou CAD propriamente dito, instalado em um computador onde a estrutura protética a ser

construída será criada. Nesta fase define-se a anatomia da peça a ser confeccionada, as linhas de contorno e a espessura (CORREIA et al., 2006). Para a definição da anatomia os softwares contam com um banco de dados que auxilia o programador.

Dois métodos de classificação para o sistema CAD são mais encontrados na literatura. O primeiro os classifica de acordo com a disponibilidade de ceder arquivos podendo ser: abertos ou fechados. Os sistemas fechados apresentam a desvantagem de comunicarem-se somente com componentes da mesma empresa sendo então todo o sistema de produção desta. Inicialmente, os primeiros sistemas eram fechados como, por exemplo, o sistema CEREC® do Dr. Moermann. Os sistemas abertos possuem a vantagem da comunicação entre componentes de empresas diferentes (sistema CAD de uma empresa e o sistema CAM de outra, por exemplo), possibilitando assim que o sistema mais adequado para cada passo da confecção de uma prótese seja utilizado (CORREIA et al., 2006). Atualmente a maioria dos sistemas são abertos o que facilita a vida do cirurgião dentista no momento de escolher um sistema para trabalhar, a comunicação entre cirurgião dentista e técnico e possibilita maior concorrência e mais justa entre empresas.

**Tabela 1: Classificação das diferentes opções de scanners odontológicos.**

Classificação	Forma de escaneamento	Local para escaneamento	Tipo de escaneamento	Tecnologia ótica	Técnicas para escaneamento	Materiais a serem escaneados
Tipos	1. Intraoral 2. Extraoral, de bancada ou laboratorial	1. Clínica Odontológica 2. Central de escaneamento	1. Por contato 2. Tecnologia óptica	1. Luz 2. Laser 3. Ambas	1. Necessidade do uso de sprays sobre o material a ser escaneado 2. Sem necessidade do uso de sprays sobre o material a ser escaneado	1. Troquel 2. Modelo de gesso parcial 3. Modelo de gesso total 4. Modelos de gessos com componentes para escaneamento sobre implantes ou intermediários 5. Moldagens orais em moldeiras para impressão. 6. Dentes ou arcada dentária dos pacientes 7. Componentes de escaneamento sobre implantes ou intermediários dentro da boca dos pacientes

Fonte: Bernardes et al., 2012

Outra possibilidade de classificação dos sistemas CAD/CAM é quanto ao local onde são utilizados: laboratório ou clínica (CORREIA et al., 2006). A Tabela 1 apresenta diferentes formas de classificação. Os sistemas utilizados no laboratório ou CAD indireto necessitam inicialmente de alguns procedimentos clínicos: uma boa moldagem e para isso a utilização de materiais elastoméricos, confecção de modelos normalmente a base de gesso, registros que permitam uma correta montagem em articulador. O fato de necessitar desses procedimentos clínicos pode ser visto como uma desvantagem devido ao risco de bolhas e distorções tanto em moldes quanto em modelos além do aumento do tempo clínico gasto. Após esses passos, já no laboratório, o técnico realiza o escaneamento e digitalização do modelo, o desenho da restauração e o envio para uma central CAM (KAYATT, 2013).

A utilização do CAD em laboratório elimina processos laboratoriais como enceramento, inclusão, fundição, e aplicação do material restaurador. Após o escaneamento do modelo é possível determinar o termino cervical de um preparo dental, recorte de troquel pra individualizar a área em que o técnico irá trabalhar, desenhar coroas parciais ou totais, que terão anatomia com base em um banco de dados do “software” e anatomia dos dentes adjacentes (KAYATT, 2013). A tabela 2 apresenta alguns sistemas CAD de laboratório.

**Tabela 2: Alguns Sistemas CAD disponíveis, fabricantes e “website.**

<b>Sistema</b>	<b>Empresa</b>	<b>Website</b>
Sistema MegaScan	Odontomega	<a href="https://www.odontomega.com.br/">https://www.odontomega.com.br/</a>
Sistema Shining3D DS EX-PRO	Talmax	<a href="https://talmax.com.br/">https://talmax.com.br/</a>
Sistema Cerec In Lab	Dentsply Sirona	<a href="https://www.dentsplysirona.com/pt-br">https://www.dentsplysirona.com/pt-br</a>
Sistema 3Shape®	3Shape	<a href="https://www.3shape.com/">https://www.3shape.com/</a>
Sistema Ceramill	Amann Girrbach	<a href="https://www.amanngirrbach.com/en-gb">https://www.amanngirrbach.com/en-gb</a>

Fonte: Adaptado Kayatt FE, 2013

O “scanner” MegaScan da Odontomega de acordo com site da empresa utiliza a tecnologia de digitalização 3D de luz azul, sendo menos sensível a luz ambiente em comparação com a tecnologia de digitalização 3D de luz branca. Sua precisão é de 10 micrômetros (Figura 1). Ele pode ser utilizado tanto para escaneamento de modelos quanto de moldagens e possui um sistema digitalização aberto.

**Figura 1: MegaScan**



Fonte: Site Odontomega

A empresa Talmax apresenta em seu site o scanner de bancada Shining3D DS EX-PRO que segundo a empresa pode ser utilizado para digitalização de “abutments”, “scan body”, articulares, facetas, modelos, moldagem, textura, cor e outras superfícies (Figura 2). Apresenta uma precisão em torno de 10 micrômetros e um sistema de digitalização aberto.

**Figura 2: Scanner de bancada Shining3D DS EX-PRO**



Fonte: Site Talmax

O sistema Carec In Lab da empresa Dentsply Sirona utiliza o “scanner” InEos Blue com tecnologia BlueCam que efetua uma leitura óptica sem contato com o modelo através de uma luz azul de ondas curtas (Figura 3). Para captação das

imagens deve-se realizar movimentos livres do modelo em todas as direções sendo possível uma digitalização precisa e rápida (KAYATT, 2013; CORREIA et al., 2006).

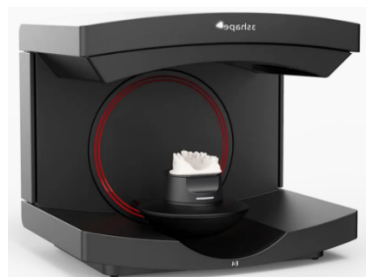
**Figura 3: Scanner InEos Blue X5**



Fonte: Site Dentsply Sirona

O Sistema 3Shape possui diversos modelos de “scanners” de laboratório que variam no tempo de escaneamento e indicações de uso, a escolha então depende do fluxo do laboratório. Para o escaneamento utiliza-se um sistema de câmeras 5 MP variando o número de câmeras nos diferentes modelos. Atualmente no Brasil o site da 3Shape apresenta os modelos E2, E3 e E4 (Figura 4).

**Figura 4: Scanner E4**



Fonte: Site 3Shape

O sistema Ceramill pertence a empresa Amann Girrbach e utiliza “scanners” com tecnologia de projeção de luz e sensores 3D para a aquisição de imagens gerando uma acurácia e sensibilidade menor que 20 micrômetros. Em uma busca recente no site da empresa Amann Girrbach é apresentado o “scanner”

laboratorial Ceramill Map 600+ que realiza a digitalização de modelos através de uma câmera industrial ultra HD com sensor 3D garantindo uma precisão de digitalização de 4 micrômetros, também é apresentado o “scanner” Ceramill Map 200+.

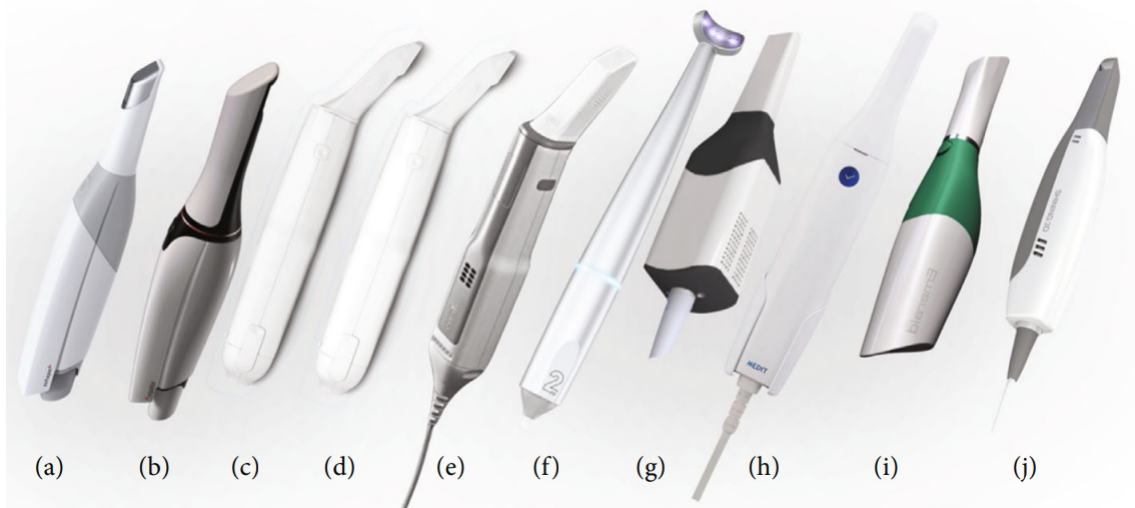
**Figura 5: Scanners Ceramill Map 200+ e Ceramill Map 600+**



Fonte: Site Amann Girrbach

Os sistemas CAD desenvolvidos para clínica ou CAD direto possuem a vantagem de não necessitarem de modelos de gesso ou molde para serem escaneados, o que diminui erros ligados ao processo de moldagem e confecção do modelo, porém apresentam limitações quanto ao escaneamento de preparos sub gengivais (OLIVIER, 2016). Atualmente existe uma grande variedade de “scanners” intraorais. Kayatt (2013) em seu livro lista treze sistemas de escaneamento mais conhecidos naquela época. Atualmente os sistemas utilizam diferentes técnicas de escaneamento como: técnica de triangulação (utilizada por Cerec, Dentsply Sirona), amostragem de frente de onda ativa (True Definition, 3M ESPE) e técnica de escaneamento confocal (iTero, Aling Technology, Trios, 3Shape) (AMORNVIT et al., 2021). Um estudo realizado por Amornvit (2021) avaliou a precisão de 10 “scanners” intraorais desenvolvidos de 2015 a 2020, e nesse estudo foi constatado um bom desempenho dos “scanners”, no entanto em casos individuais apresentam alguma imprecisão. Nesse estudo, a série Trios apresentou uma melhor precisão em relação ao outro scanners. A Figura 6 apresenta alguns scanners intraorais disponíveis no mercado e utilizados no estudo.

**Figura 6: Diferentes scanners. (a) Trios 3, (b) Trios 4, (c) iTero Element, (d) iTero 2, (e) iTero 5D Element, (f) Dental Wings, (g) Panda, (h) Medit i500, (i) Planmeca Emerald™, and (j) Aoralscan.**



Fonte: Amorrvit et al., 2021

## 2.3 CAM

O CAM (“Computer-Aided-Manufacturing”) refere-se ao processo de manufatura digital, ou seja, a confecção da peça projetada no CAD. O desenvolvimento dessa tecnologia se deu a partir da criação das máquinas CNC (Controle Numérico Computadorizado). As máquinas ou tornos CNC permitem a usinagem de peças, advindas de blocos pré-fabricados, com alta precisão a partir de uma lista de movimentos escrita num código específico. Tal código permite o controle simultâneo dos eixos para o corte do material e orienta a sequência de movimentação destes para obtenção da peça nas mesmas características e proporções proposta, podendo ser micrométricas. A quantidade de eixos pode variar de máquina para máquina. Aquelas com menor número de eixos geralmente são mais baratas e mais vistas nos consultórios odontológicos, as que possuem mais eixos são mais caras e possuem a capacidade de copiar melhor os detalhes sendo presentes em laboratórios e centrais de usinagem (KAYATT, 2013; BERNARDES et al., 2012).

De acordo com Bernardes et al. (2012) os sistemas CAM podem ser classificados como: industrial, “in lab” ou laboratorial e clínico. Os tornos “in lab” e clínicos normalmente são mais leves e mais baratos, em relação aos industriais, devido à presença de menos eixos de fresagem. Outra vantagem principalmente dos

tornos clínicos e a rapidez com que a peça é entregue para o paciente e o tratamento concluído. Como desvantagem, os sistemas laboratoriais e clínicos possuem limitação quanto a reprodução de detalhes e, como esses tornos são menores, também existe a possibilidade de deslocamentos e vibrações o que limita a fresagem. Para o cirurgião dentista a aquisição de uma máquina de fresagem clínica demanda um alto investimento podendo também ser citado como uma desvantagem. Os tornos industriais são maiores e tem a capacidade de copiar até os menores detalhes de uma restauração odontológica, a desvantagem para o cirurgião dentista deste método de produção é o tempo demandado para entrega da peça ao paciente visto que normalmente esses tornos estão presentes em centrais de usinagem muitas vezes distantes dos consultórios.

Kayatt FE (2013) classifica os sistemas CAM também quanto a disponibilidade de aceitar arquivos (normalmente STL) podendo ser: abertos e fechados. Os sistemas abertos aceitam arquivos provenientes de diferentes “scanners” e “softwares”, já os sistemas fechados só aceitam arquivos gerados dentro do mesmo modulo de aquisição, planejamento e confecção do próprio sistema. Atualmente os sistemas declaram-se cada vez mais abertos.

Outra forma de classificação é quanto ao procedimento de confecção (manufatura) podendo ser por manufatura subtrativa, mais encontrados no mercado odontológico e descritos acima, ou manufatura aditiva, método que fabrica objetos 3D a partir do depósito de camadas (KAYATT, 2013). A impressão tridimensional ou manufatura aditiva foi introduzida em 1986 pelo empresário e inventor norte americano Charles Hull. Na odontologia sua aplicação vai desde próteses dentárias, cirurgia oral e maxilofacial, implantodontia até ortodontia. Sua utilização mais comum atualmente é para a fabricação de modelos de estudo ou de trabalho. Os modelos impressos possuem algumas vantagens em relação aos modelos convencionais em gesso a exemplo o menor peso, menor probabilidade de danos, maior durabilidade, maior resistência ao desgaste (TIAN et al., 2021).

No que diz respeito as próteses a impressão 3D podem apresentar um grande potencial pois o cirurgião dentista tem a possibilidade de impressão da prótese em uma única sessão o que economizaria tempo e dinheiro. No processo de reabilitação por meio de próteses fixas a impressão 3D é vista na confecção de coroas provisórias, embora a tecnologia atual já apresente materiais com maior durabilidade clínica. Para próteses totais a tecnologia de impressão 3D pode ser usada na

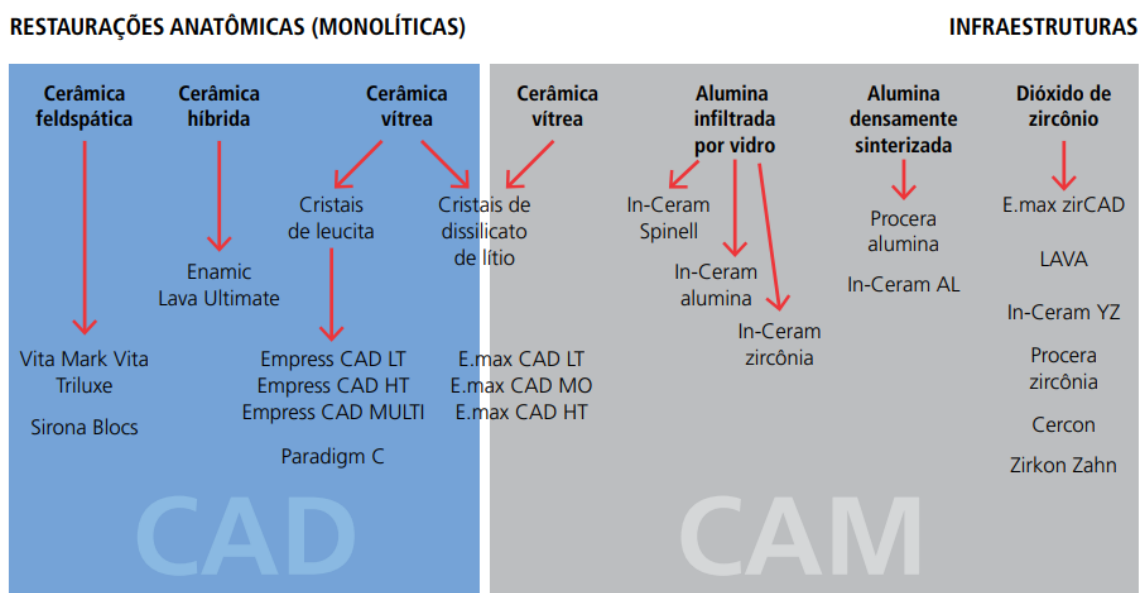
fabricação das bases das próteses. Em próteses parciais removíveis a impressão 3D já tem sido utilizada para fabricação de estruturas (TIAN et al., 2021).

## 2.4 CAD-CAM na Odontologia

Nas últimas três décadas, a odontologia restauradora passou por grandes avanços tanto em relação a materiais quanto a técnicas. O sucesso das reabilitações protéticas está ligado a escolha da terapêutica adequada, a escolha do material reabilitador adequado, a qualidade dos procedimentos executados pelo clínico e qualidade da peça protética. A introdução da tecnologia CAD/CAM na Odontologia permitiu a padronização da qualidade de peças protéticas por meio da produção de peças a partir de blocos pré-fabricados de diferentes materiais, como cerâmicas odontológicas, titânio, ligas não preciosas e resina composta (KAYATT, 2013).

Próteses fixa múltiplas, coroas totais, facetas, lentes, inlay, onlay, overlay, estruturas, podem ser fabricados partindo de blocos pré-fabricados com auxílio da tecnologia CAD/CAM. As cerâmicas odontológicas são os materiais mais utilizados na atualidade para fabricação destas peças. A figura 7 apresenta algumas cerâmicas usadas nos sistemas CAD/CAM e sua classificação.

**Figura 7: Classificação das cerâmicas fresadas pela tecnologia CAD/CAM**



Fonte: Mazaro JVQ et al., 2016

Os sistemas CAD/CAM permitiram a confecção de restaurações monolíticas (coroa total, faceta, inlay, onlay, overlay) e infraestruturas de coroa total, prótese fixa, prótese sobre implante e “abutments” personalizados, pela técnica de fresagem. As cerâmicas vítreas (por exemplo o dissilicato de lítio, a cerâmica mais popular atualmente) são as mais utilizadas para confecção de restaurações monolíticas. O fato de possuir características de resistência, translucidez e diversidade de cores possibilitou a cerâmica vítrea reforçada por dissilicato de lítio tornar-se uma boa opção para confecção de restaurações monolíticas e se tornar tão popular. Por outro lado, as cerâmicas policristalinas (por exemplo a zircônia tetragonal estabilizada com ítrio, Y-TZP) são muito utilizadas para confecção de infraestrutura tanto sobre dente quanto sobre implantes devido sua elevada resistência a fratura e alta resistência a flexão (MAZARO et al., 2016).

Outros materiais além das cerâmicas podem ser utilizados na confecção de próteses fixas. Pode-se realizar a usinagem de blocos metálicos o que resultaria em menor oxidação e maior precisão da infraestrutura da prótese em comparação a métodos de fundição até mesmo se comparado a fundição de ligas nobres como ouro. A dificuldade da usinagem de blocos metálicos está no grande desgaste das pontas de fresagem (BERNARDES et al., 2012). Além dos blocos metálicos, blocos de resina composta e polímeros (resinas compostas reforçadas com fibras de vidro e cerâmica) para sistemas CAD/CAM já são vistos no mercado. Embora os estudos sobre seu possível uso clínico sejam recentes, observa-se que esses materiais possuem vantagens como propriedades estéticas e biocompatibilidade sobre restaurações metalocerâmicas, mas propriedades mecânicas inferiores ao dissilicato de lítio (JOVANOVIC M et al., 2020).

Os sistemas CAD/CAM podem ser usados também para produção de outros tipos de próteses como as próteses parciais removíveis (PPRs) ou próteses totais (PTs). Na confecção de PPRs o uso mais comum está ligado ao escaneamento da cavidade oral do paciente para a produção de modelos ou projetar estruturas. A confecção de PPRs totalmente via CAD/CAM ainda enfrenta problemas como encaixe, precisão, rugosidade e adesão da estrutura a base da prótese (TAKAICHI et al., 2022). Bases de PTs também podem ser feitas a partir das tecnologias digitais (fresagem CAD/CAM e impressão 3D). Segundo Freitas (2022) bases feitas blocos de PMMA para fresagem apresenta maior resistência à flexão que bases feitas por impressão 3D, mas sem diferenças significativas sobre bases feitas de forma

convencional, sendo assim o que restringiria a técnica subtrativa CAD/CAM é seu maior custo e a impressão 3D as propriedades mecânicas inferiores.

Em áreas como a ortodontia o fluxo digital de trabalho também é amplamente utilizado para diagnóstico, planejamento e fabricação de aparelhos ortodônticos personalizados, tanto para ortodontia interceptativa quanto para ortodontia corretiva, com bráquetes convencionais ou alinhadores. O uso mais comum é para fabricação de alinhadores transparentes, mas também pode ser utilizado na fabricação de aparelhos auxiliares e na ortodontia convencional por meio da confecção de guias de colagem indireta. Na ortodontia a manufatura aditiva, como a estereolitografia e modelagem por deposição fundida é mais utilizada (CUNHA et al., 2021). Na área da cirurgia o uso mais comum da tecnologia CAD/CAM é a fabricação de guias cirúrgicos (TIAN et al., 2021).

### **3. PERSPECTIVAS FUTURAS**

Quando se analisa o avanço da tecnologia CAD/CAM desde sua implementação na Odontologia a partir da década de 1980 até os dias atuais, não há dúvidas de sua evolução crescente e contínua, principalmente no campo da odontologia restauradora. Esse avanço se deve a necessidade de devolver o sorriso e a auto estima aos pacientes, com o reestabelecimento das funções fisiológicas do sistema estomatognático. Em uma população cada vez mais envelhecida torna-se imprescindível devolver qualidade de vida e promover saúde por meio da odontologia. Outro fator de impulsão para os sistemas CAD/CAM é a necessidade estética imposta pelos pacientes. Esse fator tem levado a indústria de materiais odontológicos a uma busca por materiais mais estéticos.

É inegável que o nível da tecnologia CAD/CAM esteja elevado e atual, mas ainda há espaço para maiores avanços. Quando se fala em próteses parciais removíveis e próteses totais esses sistemas ainda são pouco utilizados, principalmente em nível clínico. A impressão 3D ainda é uma nova forma de confecção de próteses e que necessita do desenvolvimento de mais materiais que sejam biocompatíveis e possuam características físicas e químicas aceitáveis. A possibilidade de integração dos sistemas CAD/CAM com outras tecnologias digitais, como por exemplo, a tomografia computadorizada de feixe cônico, permite um fluxo de trabalho

contínuo e preciso deste o planejamento de um tratamento até sua conclusão. Outro importante passo para tecnologia CAD/CAM é sua introdução em ambientes educacionais como ferramentas de treinamento para prática odontológica, visto o grande interesse de alunos pela tecnologia. Com o avanço da tecnologia e a redução de custos, espera-se que os sistemas CAD/CAM se tornem mais acessíveis a um maior número de profissionais, proporcionando benefícios aos pacientes em termos de tratamento de alta qualidade e eficiência.

#### **4. CONCLUSÃO**

Diante do presente estudo conclui-se que a tecnologia CAD/CAM obteve grandes avanços e sucesso ao longo dos últimos anos e ainda pode seguir um caminho de evolução. Seu sucesso se mostra principalmente na confecção de próteses fixas (coroas totais, facetas, lentes, inlay, onlay, overlay, estruturas) e na sua contribuição em outras áreas da odontologia reduzindo passos clínicos, tempo de trabalho do cirurgião dentista, e aumentando a precisão de tratamentos.

## REFERÊNCIAS

- AL-HUMOOD, H. *et al.* Marginal Fit, Mechanical Properties, and Esthetic Outcomes of CAD/CAM Interim Fixed Dental Prostheses (FDPs): A Systematic Review. *Materials*, v. 16, n. 5, p. 1996, 2023.
- AMORNVIT, P.; ROKAYA, D.; SANOHKAN, S. Comparison of accuracy of current ten intraoral scanners. *BioMed Research International*, v. 2021, 2021.
- ARDILA, C. M.; GONZÁLEZ-ARROYAVE, D. Efficacy of CAD/CAM technology in dental procedures performed by students: A systematic scoping review of randomized clinical trials. *Heliyon*, 2023.
- BERNARDES, S. R.; DE MATIAS, T. S. I.; THOMÉ, G. Tecnologia CAD/CAM aplicada a prótese dentária e sobre implantes. *Jornal Ilapeo*, v. 6, n. 1, p. 8-13, 2012.
- CORREIA, A. R. M. *et al.* CAD-CAM: a informática a serviço da prótese fixa. *Revista de Odontologia da UNESP*, v. 35, n. 2, p. 183-189, 2013
- CRUZ, E. M. *Sistemas CAD/CAM na Odontologia*. 2018.
- CUNHA, T. M. A.; BARBOSA, I. S.; PALMA, K. K. Orthodontic digital workflow: Devices and clinical applications. *Dental Press Journal of Orthodontics*, v. 26, p. e21spe6, 2021.
- FREITAS, R. F. C. P. *Tecnologia digital em próteses totais: propriedades dos materiais CAD-CAM e desenvolvimento de uma patente de inovação para simplificação do fluxo de trabalho*. 2022.
- JOVANOVIĆ, M.; ŽIVIĆ, M.; MILOSAVLJEVIĆ, M. A potential application of materials based on a polymer and CAD/CAM composite resins in prosthetic dentistry. *Journal of Prosthodontic Research*, v. 65, n. 2, p. 137-147, 2021.
- KAYATT, F. E. *Aplicação dos Sistemas CAD/CAM na Odontologia*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2013.
- MAZARO, J. V. Q. *et al.* Cerâmicas monolíticas: mito, realidade ou apenas mais uma opção clínica. *Associação Brasileira de Odontologia. Pro-odonto Prótese e dentística*, v. 4, n. 10, p. 9-42, 2016.
- MIYAZAKI, T. *et al.* A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. *Dental materials journal*, v. 28, n. 1, p. 44-56, 2009.
- OLIVIER, G. E. H. *SISTEMA CAD/CAM-REVISÃO DE LITERATURA*. 2016.
- TAKAICHI, A. *et al.* A systematic review of digital removable partial dentures. Part II: CAD/CAM framework, artificial teeth, and denture base. *Journal of Prosthodontic Research*, v. 66, n. 1, p. 53-67, 2022.

TIAN, Y. *et al.* A review of 3D printing in dentistry: Technologies, affecting factors, and applications. *Scanning*, v. 2021, 2021.

VIEIRA, J. V. F. Principais software usados em CAD CAM e suas potencialidades. 2022.

YIN, X. (CAD/CAM) Preliminary Establishment of Digital System in Dental Restoration. In: *International Conference on Forthcoming Networks and Sustainability in the IoT Era*. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 24-31.