

Leonardo Costa Saraiva de Oliveira

A Radiografia Digital na Medicina Dentária

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade Ciências da Saúde

Porto, 2018

Leonardo Costa Saraiva de Oliveira

A Radiografia Digital na Medicina Dentária

Universidade Fernando Pessoa

Faculdade Ciências da Saúde

Porto, 2018

Leonardo Costa Saraiva de Oliveira

A Radiografia Digital na Medicina Dentária

Trabalho apresentado a Universidade Fernando Pessoa
como parte dos requisitos para a obtenção do grau de
Mestre em Medicina Dentária.

RESUMO

A imagem digital acrescentou para a medicina dentária diversos benefícios ligados aos avanços tecnológicos. Um dos princípios da radiologia sempre foi o de produzir uma imagem com grande quantidade de informações e baixa exposição à radiação ionizante. As radiografias digitais estão gerando imagens com detalhamento equivalente aos filmes convencionais e uma redução da dose de radiação. Neste trabalho estão descritos os princípios de formação da imagem radiográfica digital bem como algumas características principais dos diferentes receptores. O diagnóstico por imagem está presente em todas as especialidades da medicina dentária. Sendo necessário que os profissionais se atualizem e aprendam a usar corretamente a imagem digital.

Palavras Chave: Radiografia digital, Aparelhos de raios-X, Diagnóstico por imagem.

ABSTRACT

Technology development is being brought to dentistry by the digital radiographic images. As low as reasonably achievable was always the principle of Radiology. Dental digital radiology is creating high definition images with details that are similar to the ones encountered in conventional images, and also reducing the radiation exposure. In these study, equipment, images principles, digital receptors are described. The image diagnosis is present in all dental specialties. The professional needs to update constantly his knowledge in order to apply the best treatment to the patient.

Keywords: Digital Radiography, X-ray machines, Diagnostic imaging.

AGRADECIMENTOS

À Deus,

À minha esposa Arethuza,

Quando eu olho para a minha amada eu vejo os fragmentos de milhões de pequenas coisas que somadas me dizem que ela é a mulher da minha vida.

Ao meu Pai (in memoriam),

Obrigado pai por eu ser o homem que sou hoje.

A minha mãe,

Obrigado mãe por ser minha mãe e estar sempre ao nosso lado.

Ao meu irmão Marcelo,

Meu grande parceiro de todas as batalhas.

ÍNDICE

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	II
AGRADECIMENTOS.....	III
ABREVIATURAS.....	V
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. DESENVOLVIMENTO.....	2
1. Princípios de formação da imagem.....	2
2. Tomografia computadorizada de feixe cônico (CBCT).....	5
3. Medicina dentária forense e arqueologia.....	6
4. Microtomografia.....	6
5. A Contribuição da imagiologia para a implantologia:.....	7
III. DISCUSÃO.....	8
1. Vantagens e aplicações da imagem digital no ambiente de trabalho:.....	8
2. Tomografia volumétrica de feixe cônico:.....	9
3. Interoperabilidade:.....	9
4. Tecnologia e princípios de formação de imagem.....	10
5. A Contribuição da imagiologia para a Implantologia:.....	11
6. Microtomografia:.....	12
7. Contribuição individual do autor:.....	13
IV. CONCLUSÃO.....	15
BIBLIOGRAFIA.....	16

ABREVIATURAS

BITS – Dígitos Binários

CCD – Dispositivo acoplado por carga

CMOS – Semicondutor de óxido metálico complementar

CBCT – Tomografia computadorizada de feixe cônico

DICOM – Imagem e comunicação digital em medicina

TCP/IP – Controle de transmissão de protocolo/Protocolo de internet

3D – Três dimensões

I. INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas, a radiologia diagnóstica transformou-se notavelmente. Os avanços técnicos estão a modificar a prática clínica com resultados surpreendentes. Atualmente, a radiologia diagnóstica tornou-se necessária em todas as áreas da medicina dentária e no atendimento ao utente (Busch, 2016).

O progresso tem sido o resultado de uma interação frutífera entre ciências básicas, medicina clínica e fabricantes. Dentro das especialidades, podemos citar a radiologia intervencionista, ultrassonografia, tomografia computadorizada, ressonância magnética, tomografia. Por sua vez as técnicas de imagiologia molecular com emissores sincrotrônicos levaram a grandes avanços em métodos de imagiologia funcional, ao ponto que é muito provável que esta área da imagiologia desempenhe um grande papel no futuro, ao avaliar as alterações funcionais e patológicas observadas nos tecidos. Além disso, a especialidade está a avançar cada vez mais para um diagnóstico utiliza métodos não invasivos (Neldam, 2017).

O Diagnóstico por Imagem do complexo crânio e da face constitui uma importante parte da documentação do utente, sendo que a produção destas imagens deriva de uma necessidade do profissional em responder algumas questões que não podem ser obtidas por completo por meio do exame clínico. Ciências que são intimamente ligadas com a tecnologia, como a medicina dentária, sofrem um processo de renovação rápido, principalmente quando envolvem a radiologia digital e seus periféricos. Os exames radiográficos digitais surgiram no final dos anos oitenta, com a introdução dos sensores sensíveis aos raios-X. Nesta época, utilizados apenas em radiografias intra-bucais, com destaque para os Estados Unidos e Europa, regiões nas quais houve boa aceitação destes equipamentos pelos médicos dentistas, tanto pelo menor tempo gasto no exame como nos ganhos ecológicos (Wenzel, 2006).

Um dos princípios da Radiologia sempre foi o de produzir uma imagem com grande quantidade de informações e baixa exposição à radiação ionizante. Primariamente os aparelhos digitais foram desenvolvidos para observar estes princípios e em segundo plano, para facilitar a execução e o manejo dos exames complementares, permitindo uma documentação mais completa, organizada e acessível. A literatura mostra que nas radiografias intra-bucais, a utilização dos aparelhos digitais produz uma redução da exposição dos raios-X. Nas radiografias extra-bucais há uma melhora do detalhamento associado a uma redução da dose de radiação (Matsumoto, 2017).

Para conhecer a amplitude do tema na literatura foi realizada uma pesquisa bibliográfica baseada em artigos científicos, revistas científicas, cujo limite temporal recaiu entre o ano 2000 e o ano 2018, em inglês, espanhol e português. Os critérios de exclusão foram os artigos com datas anteriores ao ano de 2000 e artigos não providos de carácter e valor científico.

A pesquisa foi realizada nos dias 20/02/2018, 19/03/2018 e 05/05/2018 nas bibliotecas da Faculdade de Medicina Dentária da Universidade do Porto e da Faculdade Ciências da Saúde - Universidade Fernando Pessoa e os motores de busca utilizados foram o *Be.on*, *PubMed*, *Science Direct*, *SciELO* com as palavras-chave: *Dental digital radiology*, *dento maxillo facial radiology*, *synchrotronic tomography*, *cone-beam tomography*, *digital ortopantomography*.

No conjunto das pesquisas, o motor de busca apresentou 178 artigos. Destes, nenhum correspondia a uma revisão sistemática e meta-análise e apenas 24 artigos, derivados da pesquisa com as palavras-chave, eram sobre temas relevantes a medicina dentária que utilizavam recursos de imagem como diagnóstico complementar ou ferramenta de pesquisa científica relevante a área de interesse da medicina dentária.

II. DESENVOLVIMENTO

1. Princípios de formação da imagem

Berkhout *et al.* (2003), elucidaram que a imagem digitalizada pode ser adquirida de duas formas distintas: direta, com o emprego de placas intensificadoras ou sensores foto sensíveis; indireta, pela digitalização de radiografias convencionais com mesas digitalizadoras ou máquinas fotográficas digitais. Permitindo, posteriormente, o emprego de ferramentas (aplicativos) para melhorar a qualidade da imagem e evidenciar partes importantes da mesma.

Bahrami *et al.* (2003), estudaram quatro sensores de radiografias digitais utilizados em exames interproximais. Dentre os estudos podemos destacar o índice de erros e o desconforto do utente. Os erros técnicos que ocorreram em alguns sensores existiram por combinação das características próprias de cada equipamento e a habilidade do profissional. Houve uma maior dificuldade na utilização dos equipamentos com CCD (Dispositivo acoplado por carga) em relação às placas de fósforo. A ergonomia do equipamento *DenOptix* foi a mais confortável para os utentes.

Yanamoto *et al.* (2003), desenvolveram um método de criar imagens em três dimensões de uma forma mais precisa. Foi desenvolvido um aparelho de tomografia computadorizada de feixe volumétrico denominado CBCT (Tomografia computadorizada de feixe cônico) *MercurRay* exclusivo para o complexo maxilo-mandibular. O dispositivo teve uma resolução espacial de dois pares de linha por milímetro, resolução tridimensional 1,25 pares de linhas por milímetro e distorção de 5,47%. O estudo confirmou que o sistema possui um desempenho adequado para proporcionar diagnósticos a partir de imagens tridimensionais.

Farman *et al.* (2005), investigaram o efeito do cintilador e do gerador de raios-X na construção da imagem, com ênfase na transferência modulada. Durante muitos anos foram utilizados filmes sem intensificadores de imagens para tomadas intra-bucais, estes filmes excediam vinte pares de linhas por milímetro. Os sistemas digitais não possuem a mesma resolução e necessitam de uma série de estudos para averiguar suas características. As imagens estudadas neste trabalho apresentavam dimensões constantes dos pixels, todavia sofreram grandes variações com a mudança na modulação e com diferentes tipos de cintiladores.

Stelt (2005), escreveu que atualmente na radiologia digital existem duas tecnologias distintas: os sensores e as placas de fósforo. Cada um possui seus benefícios e limitações, a ser avaliado a partir necessidades de cada profissional. No início, imagens com tons de cinza em 8-*bits* (Dígitos Binários) e resolução de alguns milhares de *pixels* eram o que havia de mais avançado. Hoje, os sensores estão a capturar tons de cinza com 12 ou 16 *bits*, os feixes tomográficos cônicos produzem imagens em três dimensões com exposição aos raios-X muito menor que os sistemas convencionais. A confiança e versatilidade dos meios digitais vieram para aprimorar a radiologia odontológica.

Farman *et al.* (2006), compararam os sensores de carga acoplada de aparelhos radiográficos intra-bucais digitais levando em conta a eficiência dos seus cintiladores. Um cintilador ideal deveria absorver totalmente a radiação, possuir grande luminescência, rápido decaimento de brilho com nenhuma fosforescência, comprimento de onda eletromagnético igual ao detector, resistência mecânico-química e baixo custo. Cada problema ou deficiência nestes quesitos leva a criação de ruídos nas imagens, ruídos estes que foram estudados. Existiu uma grande diferença entre os cintiladores disponíveis no mercado.

Imagens de raios-X usando materiais cintilantes são uma alternativa para imagens diretas usando um detector. Isso ocorre porque o processo de geração de raios-X pode ser reduzido,

permitindo que camadas espessas de matérias cintiladores sejam usadas para fornecer a formação da imagem. Atualmente para converter os fótons emitidos pelos cintiladores secundários, podem ser usados os modernos geradores de imagens CCD ou CMOS (Semicondutor de óxido metálico complementar). Uma alta absorção é um aspecto importante para a imagem médica, na qual a dose de raios-x precisa ser minimizada. O problema surge principalmente do próprio processo cintilante, completamente isotrópico. Como resultado, os fótons de luz visível secundários emitidos no final do processo de cintilação, se espalham em todas as direções e não conservam a direção dos fótons de raios-X que chegam. Para superar este problema, foram introduzidos cintiladores estruturados, nos quais os fótons são guiados em direção ao seu *pixel* correspondente no chip do detector. Melhorias adicionais do processo de fabricação, como aumentar o volume ativo, tornando os poros mais profundos e mais largos, podem resultar em maior eficiência quântica, permitindo tempos de exposição mais curtos. Por fim, o trabalho acredita que as radiografias associadas a cintiladores poderiam ter aplicações em imagens médicas, tais como nos estudos de microcalcificações, nas análises de amostras ósseas trabeculares. Além de aplicações médicas, também podem ter uso em análises de materiais (Hormozanm *et al.*, 2016).

A radiologia odontológica tem desempenhado há muito tempo um papel primordial na medicina dentária, e isso nunca foi mais verdadeiro do que agora com um largo conjunto de imagens disponíveis. Com base na radiografia periapical intraoral, várias modalidades de imagem foram introduzidas nos últimos tempos, e continuam sendo desenvolvidas em uma taxa fenomenal. Enquanto isso, novas técnicas de imagem também foram introduzidas, a resolução e a qualidade de imagem dos sistemas existentes estão sendo refinadas e melhoradas continuamente. A pesquisa e o desenvolvimento concentraram-se em manipular e alterar todos os três requisitos básicos para a produção de imagens: o utente, o equipamento gerador de imagem (encontrando alternativas à radiação ionizante) e o receptor de imagem. A fusão de imagens é o processo de combinar informações relevantes de um conjunto de imagens em uma única imagem, em que a imagem fusionada se torna mais informativa e completa, aumentando as aplicações em comparação com as imagens originais. Embora a imagem de fusão já tenha amplas aplicações clínicas em oncologia, o refinamento das técnicas existentes, para uma ampla gama de aplicações práticas, pode servir para expandir ainda mais os atuais protocolos e aplicativos de geração de imagens, com ferramentas específicas de fusão (Konidena *et al.*, 2018).

2. Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico (CBCT)

Scarfe *et al.* (2006), apresentaram as aplicações clínicas da tomografia computadorizada de feixe cônico na prática odontológica. A maioria dos médicos dentistas faz uma utilização muito restrita das imagens digitais avançadas, muitas vezes por questões de custo, preocupação quanto à dose de radiação e disponibilidade. Com o advento da tomografia volumétrica para a região maxilo-facial a acessibilidade melhorou, permitindo exames sofisticados a um custo menor e com baixa exposição à radiação. Os exames permitem uma diversidade de opções, a incluir: diferentes formatos de imagens, reconstruções em três dimensões, vistas multi-planares. Existem preocupações quanto à capacitação do profissional que irá interpretar estas imagens, pois estas requerem um profundo conhecimento de anatomia, morfologia e patologia.

Scarfe *et al.* (2006), abordaram os aspectos clínicos da tomografia de feixe cônico. Este tipo de exame proporciona imagens de alta definição dos tecidos duros da região maxilo-facial, permitindo assim reconstruções de imagens nos três planos espaciais. A inserção destas tecnologias na medicina dentária, concede a redução de custos e uma penetração maior de exames sofisticados no dia-a-dia clínico. As vantagens são enormes, pois a dose de radiação e o tempo de realização são inferiores comparados aos exames tomográficos convencionais.

Moreira *et al.* (2012), demonstraram que a norma DICOM (Imagem e comunicação digital em medicina) é formada por um conjunto de regras que permite a interoperabilidade de imagens, constituindo parâmetros e processos preestabelecidos que tem como objetivo proporcionar a livre troca de imagens da área da saúde, incluindo a saúde oral. Convencionou-se que esta capacidade seria chamada de interoperabilidade. Há vários atributos de qualidade em relação a este padrão, entre eles a autora cita a amplitude de áreas da saúde que a imagem DICOM abrange, o protocolo TCP/IP (Controle de transmissão de protocolo/Protocolo de internet) que permite aos dispositivos DICOM usar *hardware* e *software* comum, parâmetros fixos de conteúdo do cabeçalho da imagem, linguagem digital de padrão aberto, permitindo a participação e o consenso entre fabricantes e usuários, todos estes incentivos permite um acolhimento mais rápido de mudanças e aprimoramentos. Esta tecnologia pode ser implantada na aquisição, troca, exportação e recuperação de imagens radiográficas dentárias.

Matsumoto *et al.* (2017), compararam a capacidade de diagnóstico de uma ortopantomografia digital e uma tomografia computadorizada de feixe cônico em caninos superiores inclusos. O estudo de caninos impactados na região superior com o uso de ferramentas diagnósticas de

radiação ionizante de baixa dose como a ortopantomografia, radiografias oclusais e as radiografias periapicais são limitadas pela sobreposição de estruturas tridimensionais numa imagem bidimensional. Em alguns casos, estas técnicas não conseguem precisão e confiabilidade adequadas. Não obstante, a ortopantomografia é a técnica de eleição em casos de caninos impactados. Muitos utentes apresentam associado ao dente impactado, uma reabsorção radicular no plano sagital, que inutiliza a técnica diagnóstica da ortopantomografia, exigindo a adopção de técnicas de corte tomográfico. Devido a dose reduzida de radiação ionizante em relação aos de feixe linear a de feixe cônico é a de eleição. Seguindo o mesmo diapasão, as tomografias de feixe cônico tornaram-se padrão diagnóstico para estudos científicos e experimentações práticas.

3. Medicina dentária forense e arqueologia

Os dentes são inestimáveis para o entendimento forense e arqueológico, a idade da morte pode ser avaliada diretamente a partir da microestrutura dentária, e o desenvolvimento dentário apresenta-se correlacionado com a história da evolução humana. Até recentemente, nossa compreensão da evolução do crescimento e desenvolvimento humano, derivou de estudos fósseis para determinação da idade e comparação de diferentes grupos humanos. Essa abordagem levou a um debate considerável sobre as afinidades e similaridades humanas. Microtomografias síncrotrônicas não destrutivas podem ser utilizadas para caracterizar o desenvolvimento incremental, erupção dos dentes molares e a idade de óbito em registos fósseis de populações homínidas. É possível avaliar a formação da coroa dos dentes. Os homínidos de diferentes períodos apresentam uma variação notável (Smith *et al.*, 2015).

4. Microtomografia

Uma das mais recentes tecnologias de imagem criadas com base na tomografia computadorizada é a microtomografia de raios-X, que permite a visualização não invasiva de estruturas tridimensionais. O principal objetivo da tomografia computadorizada é geralmente uma análise qualitativa não destrutiva da estrutura ou da amostra. Microtomografia de raios-X, também oferece a oportunidade de conduzir uma análise quantitativa abrangente dos objetos testados, como medir as diferentes camadas, determinar a densidade do material (densitometria no caso do tecido ósseo), o tamanho e distribuição dos poros e partículas. Este é um método usado para imagens *in vivo* em alta resolução de contraste da estrutura interna dos objetos examinados. A principal diferença está no tamanho menor do ponto focal do tubo de raio-X.

Essas características estão a tornar possível a obtenção de imagens com resolução muito maior, que atinge escala submicron. No entanto, a microtomografia não é usada em estudos *in vivo* humanos, devido ao alto potencial mutagênico dos raios-X usados em técnicas atuais. A utilização da microtomografia por raios-X na medicina dentária tem aumentado recentemente e inclui, entre outras, a avaliação da densidade de minerais no esmalte e na dentina, a detecção da desmineralização em uma cárie artificial e naturalmente induzida, a medição automática da profundidade das cavidades em dentina. No entanto, os estudos que estão a utilizar microtomografia em medicina dentária são realizados principalmente com dentes previamente extraídos ou modelo animal. A microtomografia de raios-X é um método não destrutivo de testar materiais, o que permite a obtenção com alta precisão de varredura espacial ou espacial de material ou elemento em questão. Este método permite a análise 3D (Três dimensões) das propriedades da estrutura do material. Outra grande vantagem desse método é a capacidade de estudar amostras sólidas em relação a sua arquitetura interna e comparativa com aplicativos de elementos finitos e modelos 3D (Chalas *et al.*, 2016).

5. A Contribuição da imagiologia para a implantologia

Na prática da medicina dentária, a radiografia é a mais comum técnica utilizada para diagnosticar peri-implantite. Radiografias intra-orais e ortopantomografias fornecem imagens bidimensionais do tecido peri-implantar e osso. A escolha da técnica ideal depende, em parte, da disponibilidade, facilidade de uso e aceitação do utente. Nada obstante, o objetivo do autor foi avaliar a precisão diagnóstica das técnicas de imagem atualmente disponíveis na detecção de defeitos ósseos peri-implantares. As técnicas de CBCT e radiografias intra-bucais, apresentaram valores de sensibilidade e especificidade semelhantes. No que diz respeito ao CBCT, sua performance variou, dependendo da qualidade da imagem e do tamanho do defeito. Por exemplo, o uso do filtro original, melhorou a identificação de casos verdadeiramente positivos. Em contraste, ao usar o filtro Sharpen, a identificação de valores verdadeiramente negativos foi maior (Bohner *et al.*, 2017).

O objetivo deste estudo foi comparar a avaliação histomorfométrica da relação entre osso e implante, com a mais recente tecnologia de microtomografia computadorizada síncrotrônica 3D. A relação entre osso e implante é considerada um pré-requisito para a estabilidade, sobrevivência do implante e reconstrução dentária funcional. Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os métodos de avaliação. No entanto, a avaliação histológica

revelou diferenças estatisticamente significantes entre as áreas micro e macro, porém isso não ficou evidente na avaliação de micro-tomografia computadorizada radiação sincrotrônicas 3D. A resolução está melhorando nas fontes de sincrotrônicas, mas o fator limitante pode ser a capacidade de lidar com a enorme quantidade de dados que vêm com imagens de alta resolução (Neldam *et al.*, 2017).

Tang *et al.* (2017), A CBCT tem sido amplamente utilizada nos implantes dentários. No entanto, nem todos os profissionais têm acesso ao CBCT devido ao custo e ao investimento necessário para adquirir o equipamento. Desta forma, muitos profissionais recorrem a ortopantomografia para confeccionar os seus diagnósticos. Portanto, é clinicamente significativo determinar a taxa de magnificação da ortopantomografia para obter o diagnóstico correto. As distâncias derivadas do CBCT foram utilizadas como referência. As taxas de ampliação nessas posições foram calculadas. O presente estudo mostrou diferentes taxas de ampliação da ortopantomografia em comparação com CBCT na medição de diferentes pontos maxilo-faciais. Houve coeficientes de correlação altamente associados entre as amostras pareadas, obtidas de ortopantomografias e CBCTs. A taxa de distorção pode divergir devido a instrumentos, posições de filmagem e métodos de medição geralmente variando de 30% a 50%. Além disso, a forma e simetria do arco dentário, arranjo dos dentes, forma dos dentes, ângulo de inclinação dos dentes e os tecidos circundantes também contribuem para a formação de distorções das imagens. Verificou-se que a taxa de ampliação da ortopantomografia vertical é de cerca de 25%. O autor também mostrou que a taxa de ampliação é semelhante entre os utentes, com poucas exceções.

III. DISCUSÃO

1. Vantagens e aplicações da imagem digital no ambiente de trabalho:

Os primeiros sistemas digitais tinham uma certa resistência pelos profissionais devido a inclusão de uma tecnologia que poucos estavam acostumados. Como exemplo, os aparelhos radiográficos digitais intra-buciais possuíam cabos e suportes desconfortáveis e de difícil manejo pelo profissional, acarretando erros mais frequentes. Estes problemas foram solucionados, em partes, por alguns fabricantes (Bahrami *et al.*, 2003).

Na época atual, os sensores radiológicos estão aumentando sua resolução e qualidade, escala de tons de cinza mais ampla e tamanho dos arquivos. Embora o tamanho dos arquivos tenha

sido um problema no início da implantação da radiologia digital, hoje em dia não é tão importante devido à capacidade maior das mídias electrónicas de armazenagem. Já estão no mercado aparelhos de feixes cônicos que produzem imagens em três dimensões do paciente com uma dose de radiação bem inferior a encontrada anteriormente (Stelt, 2005).

Profissionais que adquiriram equipamentos digitais não têm intenção de retornar aos sistemas convencionais (Berkhout *et al.*, 2002).

2. Tomografia volumétrica de feixe cônico

A cada dia novas tecnologias estão sendo introduzidas na odontologia. A tomografia volumétrica proporcionou grandes avanços no diagnóstico, permitindo ao profissional estudar elementos anatómicos de uma maneira muito mais detalhada e em vários planos (Hatcher, Aboudara, 2004; Scarfe *et al.*, 2006).

As imagens tomográficas de alta resolução estão se difundindo cada vez mais, tanto pela qualidade, como pela redução na dose de radiação comparado aos tomógrafos convencionais (Sasaki *et al.*, 2004).

A tomografia necessita de um profundo conhecimento da morfologia e da patologia para aproveitamento total das imagens, obrigando o profissional a se especializar cada vez mais (Scarfe *et al.*, 2006). Os tomógrafos volumétricos disponíveis no mercado possuem diferentes tecnologias, por consequência disto, uma grande variação na qualidade e tamanho da imagem, bem como nas áreas de abrangência das estruturas anatómicas. Cabendo ao profissional estudar todos estes aspectos para saber qual dispositivo apresenta as qualidades necessárias para cada tipo de diagnóstico (Wiese *et al.*, 2007).

3. Interoperabilidade

A facilidade de enviar imagens radiográficas, para avaliação por outro especialista, via aplicativos de comunicação pessoal, é uma realidade estabelecida. O diagnóstico e o plano de tratamento do utente aceleram-se. A imagem digital pode ser arquivada em formatos compactos, de acordo com cada sistema, diminuindo o número de salas das clínicas e facilitando a troca de informações entre profissionais. O principal formato utilizado hoje se chama DICOM, construído por um conjunto de regras que permite a interoperabilidade de imagens e processos preestabelecidos facilitando a livre troca de imagens da área da saúde. Este

formato, rompe as barreiras entre as diferentes áreas da saúde e o protocolo TCP/IP também permite aos dispositivos DICOM usar hardware e software comum e linguagem digital de padrão aberto. A interoperabilidade, assume um papel de extrema importância, uma vez que protege a utilidade da informação diagnóstica (Moreira *et al.*, 2012)

4. Tecnologia e princípios de formação de imagem

A despeito de as imagens digitais possuírem um contínuo processo de evolução e aperfeiçoamento, os princípios de formação de imagem, apresentam parâmetros semelhantes aos primórdios do uso desta tecnologia. Os raios-X emitidos pela fonte de radiação são capturados por um sensor sensível à radiação eletromagnética, este sensor produz uma imagem bidimensional. Cada ponto desta imagem é denominado *pixel*, ponto este que ainda apresenta características individuais da imagem. Nos sistemas convencionais de filmes radiográficos, os cristais de prata depositados na emulsão do filme eram a unidade fundamental da imagem, sendo responsáveis pela resolução e definição da imagem. Todavia, nos sistemas digitais o que define a resolução espacial é o tamanho e a quantidade de *pixels* da imagem. O armazenamento da informação é feito pela conversão em *bits*, dígitos binários. Por norma, a ausência de corrente elétrica é identificada pelo numeral zero e a presença de corrente elétrica é representada pelo numeral um. Por fim, toda a informação adquirida pelo exame radiográfico é armazenada no computador. Durante o processo de diagnóstico, esta imagem é projetada no ecrã do computador em tonalidades de cinza, normalmente divididos em 256 tons, com o numeral zero convencionado como o preto absoluto ou radiolucência máxima e o numeral 255, o branco absoluto ou máxima radiopacidade (Sarmiento, 2000).

Todos os equipamentos digitais utilizam tecnologias de captura de imagem semelhantes. Foi desenvolvido em 1991 sensor conhecido por CCD. O dióxido de silício encontrado neste sensor possui baixo peso atômico e absorve os raios-X produzindo energia, energia esta que é direcionada e interpretada para criar a imagem radiográfica. O dispositivo comercial *Sens-A-Ray* (Regam Medical Systems AB, Sundsvall, Sweden), foi um dos precursores deste sistema. Outra tecnologia muito semelhante é a do sensor CMOS, que também utiliza materiais que geram energia em contato com a radiação X, porém próximo ao cristal radio luminescente existem transístores que convertem mais rapidamente esta energia em eletricidade, não necessitando de fios especiais para transportar a informação até a área de processamento, desta forma, economiza energia. As vantagens e desvantagens destes sistemas são semelhantes.

Podemos destacar como vantagens a reprodução praticamente instantânea da imagem, uma boa resolução e reposição de apenas o sensor no caso de avaria. As desvantagens mais conhecidas são os custos, o tempo de vida do sensor (indeterminado), o tamanho do sensor, o controle de infecção e a necessidade de um computador próximo. Hormozanm *et al.* (2016), estudaram cintiladores que podem ser utilizados para transformar os raios-X em fótons de luz visível que posteriormente, serão captados por sensores CCD ou CMOS, altamente sensíveis. Esta tecnologia permite reduzir ainda mais a quantidade de radiação necessária para a formação da imagem, assim preserva o paciente de exposição desnecessária à radiação ionizante. A aplicação de cintiladores pode gerar perda de detalhe de imagem devido a emissão não direcional dos fótons, a requerer alguma forma de modulação do feixe de luz para evitar artefatos desnecessários. Os sensores intra-buciais no sistema CCD são inadequados e demorados para serem posicionados em bocas pequenas, apresentam poucas opções de tamanho tornando-se uma de suas grandes limitações; além de utilizarem um cabo ligado ao computador, o que dificulta o seu manuseio.

Há uma outra tecnologia que converte aparelhos de raios-X convencionais em digitais. Para isto, são utilizadas placas de fósforo reutilizáveis no lugar dos filmes, estas placas são lidas por um dispositivo específico, que converte a informação armazenada na placa em uma imagem digital. Este sistema se destaca pela capacidade da placa ser similar ao filme convencional, pela ausência de fios entre o sensor e o sistema de processamento próprio. O custo relativamente inferior e a possibilidade do computador estar em outro ambiente, são qualidades atribuídas a esta tecnologia. Por outro lado, este sistema necessita de um ambiente semi-escuro, o tempo de aquisição da imagem é maior do que o correspondente digital, a placa está sujeita a arranhões e ao uso incorreto. Estudos como o de Rodrigues *et al.* (2010), demonstraram que a aquisição de imagens por mesas digitalizadoras e câmeras fotográficas podem ser uma alternativa aos sistemas digitais, porém a distorção das imagens deve ser levada em conta.

5. A contribuição da imagiologia para a implantologia

A implantologia depende muito da relação entre o osso circundante e o material implantado. Para pesquisar esta região é usual fazer uso da histomorfométrica. A microtomografia permite avaliar esta região com grande resolução e de forma não destrutiva da área a ser estudada. Neldam *et al.* (2017), não encontrou diferença estatística significativa nas duas formas de avaliação. Médicos dentistas, com ênfase em implantologia que trabalham com o mais alto

índice de cuidado por seus utentes, adotam a tomografia computadorizada por feixe de cone (CBCT) na elaboração do plano de tratamento de instalação dos implantes dentários. Entretanto ainda há profissionais que utilizam apenas a ortopantomografia, radiografia esta, que o índice de magnificação pode chegar até 50% em determinadas regiões da imagem.

Com a melhoria dos padrões de vida, a demanda por implantes dentários está aumentando rapidamente. É uma tendência para o diagnóstico estomatológico, a utilização da imagem em três dimensões de alta precisão para substituir a imagem bidimensional. Comparados ao CBCT, o qual possui uma magnificação de imagem irrelevante estatisticamente, a ortopantomografia apresenta magnificações generalizadas e de diferentes graus ao longo da imagem. A distorção das ortopantomografias podem resultar da distância entre a fonte de raios-X e a placa de filme ou imagem, devido a diferença entre a trajetória do movimento do eixo da varredura, em função das partes móveis do equipamento e da velocidade (sensibilidade) do filme, em relação ao feixe de raios-X (Rodrigues *et al.*, 2010; Tang, *et al.*, 2017).

No entanto, Bohner *et al.* (2017) afirmam que não há consenso na literatura quanto aos exames de eleição para cada estágio de tratamento, irá depender da área de atuação do médico dentista e diferentes patologias. No entanto, podem ocorrer distorções geométricas e superposições anatômicas. Nos casos em que é necessária a visualização tridimensional do osso, a tomografia computadorizada convencional e do feixe de cone (CBCT), podem ser uma modalidade alternativa. O alto custo, a exposição à radiação ionizante e a presença de artefatos metálicos são considerados as principais limitações dessas técnicas, porém esta técnica é a mais precisa para avaliar os implantes dentários e tecidos ósseos circundantes. Ainda neste estudo, o autor cita a ultrassonografia, como alternativa eficaz de avaliar as estruturas ósseas.

6. Microtomografia

Uma das mais recentes tecnologias de imagem criadas com base na tomografia computadorizada é a microtomografia de raios-X, que permite a visualização não invasiva de estruturas tridimensionais (Chalas *et al.*, 2016). Dentro desta linha de pesquisa, há imagens geradas através de fontes síncrotrônicas, que geram imagens de resoluções muito elevadas, que atingem a escala submicron, mas o fator limitante pode ser a capacidade de lidar com a enorme quantidade de dados que vêm com imagens de alta resolução e a quantidade de radiação utilizada. Esta tecnologia, nos dias de hoje, limita-se, em sua quase totalidade, a pesquisa *in vitro*. Microtomografia de raios-X, permite medir as diferentes camadas, determinar a

densidade (densitometria no caso do tecido ósseo), o tamanho e distribuição dos poros e partículas. Neste caso, há possibilidade de aquisição de imagens *in vivo* em alta resolução e contraste de estruturas internas. No entanto, a microtomografia não é usada em estudos *in vivo* humanos, devido ao alto potencial mutagênico. O modo de ação é semelhante a uma tomografia computadorizada. A principal diferença está no menor tamanho do ponto focal do tubo de raios-X, que fornece imagens de maior resolução. Destacando ainda que a microtomografia é um método não destrutivo (Neldam *et al.*, 2017),

Na medicina dentária, a microtomografia pode ser utilizada como método de avaliação da densidade de minerais no esmalte e na dentina. Estudos também podem avaliar a micro infiltração em torno de selantes, a medição da densidade óssea cortical e a avaliação da morfologia dos canais radiculares. A microtomografia está em ampla ascensão, a possibilidade de estudo de peças sólidas no tocante a estruturas internas e disposição espacial, será fundamental no estudo dos tecidos mineralizados do corpo humano. Com aplicações muito relevantes, nos estudos do desenvolvimento e evolução dos tecidos, estudados na área da medicina dentária (Smith *et al.*, 2015).

7. Contribuição individual do autor

A radiologia digital está ligada diretamente ao desenvolvimento tecnológico. A criação de sensores sensíveis a radiação, a popularização do computador e a sua constante atualização tanto a processar como a armazenar permitiram a criação de equipamentos cada vez mais modernos para a prática da medicina dentária. As vantagens são inúmeras, entre elas, destacamos a redução de espaço reservado ao arquivo de utentes, a não utilização de salas de processamento químico, melhor organização dos prontuários de história clínica, rápida comunicação entre diferentes profissionais, melhora no diagnóstico com recursos gráficos e ferramentas de programas para análise das imagens radiográficas. Todos os fabricantes ligados a radiologia digital dentária e maxilo facial disponíveis no mercado, tentam fazer o uso de toda ou parte desta tecnologia, para construir equipamentos cada vez mais modernos que ajudam o clínico na sua rotina de atendimento.

Recentemente, a imagem digital faz parte do cotidiano do médico dentista, principalmente no diagnóstico por imagem (Tomografia Computadorizada de feixe cônico, Ressonância Magnética e Ultrasonografia). Desta forma, o uso da imagem digital na medicina dentária será crescente. A microtomografia, tornou-se um acessório fundamental nas pesquisas tecnológicas

e teóricas, acrescentando alternativas para estudos microscópicos e estruturais dos tecidos vivos, embora ainda não haja aplicação *in vivo* em seres humanos. As aplicações das novas tecnologias sincrotrônicas, vão muito além da pesquisa para o auxílio clínico, podendo fornecer origens evolutivas da cavidade bucal, trazendo respostas a muitas questões em diversas áreas da ciência. A microtomografia de raios-X, oferece a análise de tecidos mineralizados, de estruturas complexas de ossos, a avaliação dos dentes e materiais biomédicos, revelando-se indispensável, uma vez que abre novas oportunidades para pesquisas científicas e de implementação.

Contudo, além da significativa redução da dose de radiação obtida, o sistema digital de imagens contribui para o meio ambiente. Não há necessidade de extração da prata para compor a emulsão dos filmes, reduzindo por sua vez, a contaminação da água, por não existir processamento químico da imagem. Em consequência, conseguimos também o chumbo usado na confecção das embalagens de filmes radiográficos.

IV. CONCLUSÃO

Os dados nesta pesquisa nos levaram as seguintes conclusões:

- a) O uso da imagem digital na medicina dentária está centrada nas ferramentas de diagnóstico, no banco de dados, documentação da história clínica, na rápida recuperação de dados e na melhoria da comunicação entre profissional e utente e entre profissionais;
- b) Algumas especialidades com o advento da imagem digital foram mais beneficiadas que as outras. Podendo citar entre elas, a utilização na endodontia, cirurgia, implantologia e periodontia, que constantemente, são citadas na literatura em função da rapidez na obtenção da imagem e da pequena exposição aos raios-X;
- c) No âmbito da pesquisa científica, as imagens digitais na medicina dentária, ultrapassam as barreiras das diferentes especialidades da área da saúde. Contribuem para um avanço nunca antes visto na busca por melhores materiais para reparação e reconstrução dos tecidos humanos. Permite obter respostas sobre a formação e desenvolvimento dos tecidos da cavidade bucal.
- d) A ortopantomografia permanece como um exame complementar de suma importância para o diagnóstico do utente, especialmente nas primeiras consultas.

BIBLIOGRAFIA

Bahrami, G., *et al.* (2003). Bitewing examination with four digital receptors, *Dentomaxillofacial Radiology*. 32, pp. 317-321.

Berkhout, W.E., *et al.* (2002). A comparison of digital and film radiography in Dutch dental practice assessed by questionnaire. *Dentomaxillofacial Radiology*. 31, pp. 93-99.

Berkhout, W.E., *et al.* (2003). Digital intra-oral radiography in dentistry. Diagnostic efficacy and dose considerations. *Oral radiology*, 19(1), pp. 1-13.

Bohner, L.O.L. *et al.* (2017). Comparative analysis of imaging techniques for diagnostic accuracy of peri-implant bone defects: a meta-analysis. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 124(4), pp. 432-440.

Busch, U. (2016). Wilhelm Conrad Roentgen. El descubrimiento de los rayos xy la creación de una nueva profesión médica. *Revista argentina de radiología*, 80(4), pp. 298-307.

Chalas, R. *et al.* (2017). Observations of mineralised tissues of teeth in X-ray micro-computed tomography. *Folia morphologica*, 76(2), pp. 143-148.

Farman, T.T. *et al.* (2005). Effects of scintillator on the modulation transfer function (MTF) of a digital imaging system. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 99(5), pp. 608-613.

Farman, T.T. *et al.* (2006). Effects of scintillator on the detective quantum efficiency (DQE) of a digital imaging system. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontics*, 101(2), pp. 219-223

Hatcher, D.C. e Aboudara, C.L. (2004). Diagnosis goes digital. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics*, 125(4), pp. 512-515.

Hormozan, Y., *et al.* (2016). High-resolution x-ray imaging using a structured scintillator. *Medical physics*, 43(2), pp. 696-701.

Konidena, A. *et al.* (2018). Fusion imaging: a bipartite approach. *Oral Radiology*, 34(1), pp. 1-9.

- Matsumoto, M.A.N., *et al.* (2017). CBCT imaging vs conventional radiography. *American Journal Orthodontics Dentofacial Orthopedia*. 152, pp. 145-6.
- Moreira, A., *et al.* (2012). Aplicação da norma DICOM em Medicina Dentária. *Revista Portuguesa de Estomatologia, Medicina Dentária e Cirurgia Maxilofacial*, 53(2), pp. 117-122.
- Neldam, C.A. *et al.* (2017). Synchrotron radiation μ CT and histology evaluation of bone-to-implant contact. *Journal of Cranio-Maxillo-Facial Surgery*, 45(9), pp. 1448-1457.
- Rodrigues, C.D. *et al.* (2010). Evaluation of indirect methods of digitization of cephalometric radiographs in comparison with the direct digital method. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 15(4), pp. 124-132.
- Sarmiento, V.A. (2000). Diagnóstico radiográfico de alterações periapicais de origem endodôntica através da determinação do nível de cinza em imagens digitalizadas: estudo experimental em ratos. *Dissertação de Doutorado. Faculdade de Odontologia, Pontifícia Universidade Católica, Rio Grande do Sul, Porto Alegre*.
- Sasaki, T. *et al.* (2004). Current status of diagnostic imaging in dental university hospitals in japan. *Japanese Society for Oral and Maxillofacial Radiology*. 20(1), pp.15-21.
- Scarfe, W.C. *et al.* (2006). Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *Journal Canadian Dental Association*. 72, pp. 75-80.
- Smith, T.M. *et al.* (2015). Dental ontogeny in pliocene and early pleistocene hominins. *PloS one*, 10(2), e0118118.
- Stelt, V.P. (2005). Filmless Imaging the uses of digital radiography in dental practice. *Journal American Dental Association*. 136(10), pp. 1379-1387.
- Tang, Z., *et al.* (2017). Comparison of digital panoramic radiography versus cone beam computerized tomography for measuring alveolar bone. *Head & face medicine*, 13(1), p. 2.
- Wenzel A. (2006). A review of dentists' use of digital radiography and caries diagnosis with digital system. *Dentomaxillofacial Radiology*, 35, pp. 307–314.
- Wiese, M. *et al.* (2007). Comparison of diagnostic accuracy of film and digital tomogramn for assessment of morphological changes in the TMJ. *Dentomaxillofacial Radiology*. 36, pp. 12-17.

Yanamoto, K., *et al.* (2003). Development of dento-maxilo facial cone beam X-ray computer tomography system. *Orthodontics Craniofacial Research*. 6(s1), pp. 160-162.