



ANDRÉA DOS ANJOS



ESTUDO COMPARATIVO DE TRÊS SISTEMAS DIGITAIS SEM CABO NO DIAGNÓSTICO DE CÁRIES PROXIMAIS

Tese apresentada à Faculdade de Odontologia de
Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas,
para obtenção do Título de Doutor em Radiologia
Odontológica. Área de Radiologia Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Haiter Neto

**PIRACICABA
2007**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**
Bibliotecário: Marilene Girello – CRB-8ª. / 6159

P779e	Pontual, Andréa dos Anjos. Estudo comparativo de três sistemas digitais sem cabo no diagnóstico de cáries proximais. / Andréa dos Anjos Pontual. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2007. Orientador: Francisco Haiter Neto. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba. 1. Dentes – Radiografia. 2. Diagnóstico. 3. Raios X. 4. Cáries dentárias. 5. Curva ROC. I. Haiter Neto, Francisco. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título. (mg/fop)
-------	---

Título em inglês: Comparative study of three wireless digital systems for approximal caries diagnosis

Palavras-chave em inglês (Keywords): 1. Teeth radiography. 2. Diagnosis. 3. X-Rays. 4. Dental caries. 5. ROC curve

Área de concentração: Radiologia Odontológica

Titulação: Doutor em Radiologia Odontológica

Banca examinadora: Francisco Haiter Neto, Júlio César de Melo Castilho, Karina Lopes Devito, Solange Maria de Almeida, Frab Norberto Bóscolo

Data da defesa: 28/02/2007

Programa de Pós Graduação: Radiologia Odontológica



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Tese de DOUTORADO, em sessão pública realizada em 28 de Fevereiro de 2007, considerou a candidata ANDREA DOS ANJOS PONTUAL aprovada.

PROF. DR. FRANCISCO HAITER NETO

PROF. DR. JULIO CÉZAR DE MELO CASTILHO

PROFª. DRª. KARINA LOPES DEVITO

PROFª. DRª. SOLANGE MARIA DE ALMEIDA

PROF. DR. FAB NURBERTO BOSCOLO

Dedico este trabalho...

A minha família,

A minha mãe, Fernanda Pontual, força e alma da nossa família, exemplo de ser humano, presente nos momentos importantes da vida de seus filhos, principal responsável por nossa formação;

Ao meu querido pai, Ricardo Pontual, pelo amor intenso nos poucos anos de convivência;

Ao meu irmão Eduardo, a minha cunhada Raquel, aos queridos sobrinhos Luíza e Ricardo, pelo amor, amizade e confiança;

A minha irmã Maria Luíza, pessoa que me ensinou a amar a Odontologia e a Radiologia. Nossa convivência em Piracicaba foi fundamental para meu crescimento tanto no aspecto profissional como no pessoal, sua energia é contagiante;

A minha irmã e alma gêmea, Marina, sem o seu apoio, amor, atenção e paciência tudo seria mais difícil, quase impossível! Sem você me sinto perdida e incompleta, obrigada por ser tão presente nestes anos de curso;

Ao meu namorado Bruno, por me incentivar em todas as etapas necessárias para meu crescimento profissional e pessoal. Obrigada pela paciência e por fazer parte da minha vida!

Agradeço a Deus pelo privilégio de fazer parte dessa família!

Muito obrigada por tudo!

Agradecimentos...

A Deus,

Pela oportunidade de conviver com pessoas maravilhosas e por todas as bênçãos que me concedeu.

À Faculdade de Odontologia de Piracicaba,

na pessoa de seu diretor, Prof. Dr. Francisco Haiter Neto.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Francisco Haiter Neto,

por me orientar no mestrado e no doutorado e, sobretudo, por me ensinar a confiar no meu potencial. Tornou-se um exemplo de dedicação e competência em minha vida.

Ao Prof. Dr. Frab Norberto Bóscolo,

pelo carinho e atenção e, principalmente, pelo exemplo de liderança e por sempre demonstrar a importância da dedicação durante a vida acadêmica e profissional.

À Profa. Dra. Solange Maria de Almeida,

por ter me recebido com tanto carinho e compreensão, como verdadeira amiga! Obrigada pelo apoio e confiança na minha competência nesses quatro anos de convivência de maneira tão afetuosa e intensa. Ser-lhe-ei eternamente grata pelo incentivo e carinho!

Ao Prof. Dr. Pedro Duarte Novaes,

pela inestimável ajuda, atenção e paciência..

Aos funcionários Roberta, Giselda, Waldeck e Fernando, da disciplina de Radiologia,

pela atenção, amizade e ajuda.!

Aos funcionários Cidinha, Gustavo e Li, da disciplina de Histologia,

por tornarem meus dias em Piracicaba mais prazerosos, divertidos e, também, pela alegria, carinho, atenção e imprescindível auxílio!

À minha eterna Professora: Profa. Dra. Márcia Silveira,

pessoa maravilhosa que simplesmente adoro! Agradeço todos os dias, a oportunidade de conviver com esta mulher íntegra, de incomensurável coração e sabedoria, que sempre será referência para minha vida profissional e pessoal.

À minha avó Luíza e aos meus queridos tios Maria Joaquina, Eduardo e Marita,

Pelo amor, cumplicidade, amizade, apoio, incentivo e, em especial, pela presença constante em minha vida, ultrapassando o papel de avó e de tios. Minha gratidão é eterna!

À minha amiga Karina,

Por sempre me apoiar em tudo o que faço! Foi fundamental para o meu crescimento como ser humano. Sem sua ajuda não seria possível a realização deste trabalho. Espero que você continue fazendo parte da minha vida!

Às minhas amigas,

Janaína, por ser uma companheira maravilhosa durante os últimos anos! Você foi uma irmã para mim, sempre carinhosa, atenciosa e preocupada com meu bem estar, muito obrigada por tudo!

Daniela Pita, por estar presente quando precisei de um ombro amigo e, principalmente, por me apoiar em todos os momentos de dificuldade!

Márcia Casanova, pelo apoio e sincera amizade!

Priscila Serrano, pelo companheirismo, apoio e carinho!

Aos meus queridos amigos recifenses, Patrícia Campos, Valêska Dantas, Karla Freitas, Fernanda Cristina, Érika Andrade Lima, Gabriela Queiroz, Cecília Ventura e Suzana Andrade,

fiéis amigas que não cruzaram meu caminho por acaso, sempre me incentivaram, apoiaram e auxiliaram, muito obrigada!

À amiga Flávia Maria,

Recifense que conheci em Piracicaba, compartilhou tantos momentos importantes nos últimos anos, obrigada pelo carinho e atenção. Tenho certeza que nossa amizade será eterna!

À amiga Juliana Bittar Cortez,

Por sempre me ajudar e pela grande amizade que, com certeza, sempre nos unirá!

A Sérgio Lopes,

pela ajuda na elaboração desta tese. Sua atenção, companheirismo, incentivo e apoio foram essenciais para o término desta pesquisa, sou muito grata!

À amiga Karllinha,

Por ser tão doce, atenciosa, companheira e pela amizade sincera!

E aos demais amigos do curso de Pós-graduação em Radiologia: Maria, Ellen, Alynne, Andréa K, Sandro, Fábio, Adriana, Rose e Mário, pela atenção e carinho.

Agradecimentos especiais...

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo)

Por conceder o auxílio à pesquisa (protocolo 03/06930-8) e, assim, possibilitar a realização desta pesquisa.

À Ann Wenzel

Pela ajuda durante a realização desta pesquisa.

Aos examinadores,

Por realizarem as avaliações das imagens radiográficas desta pesquisa.

RESUMO

O objetivo, nesse trabalho, foi comparar, de forma objetiva e subjetiva, dois sistemas digitais de placa de armazenamento de fósforo (Digora Optime[®] e DenOptix[®]), com o sistema CDR Wireless[®], utilizando o filme radiográfico como método radiográfico de referência. Para a análise objetiva, foram obtidas imagens radiográficas de uma escala de densidade de Alumínio utilizando os três sistemas digitais. Posteriormente, obtiveram-se os valores do *pixel* por meio de ferramenta apropriada do *software* EMAGO[®]/Advanced. A comparação dos valores médios do *pixel* dos sistemas digitais foi realizada pelos testes de Kruskal-Wallis e de comparações múltiplas de Dunn ($p < 0,01$). Para a avaliação subjetiva, foram obtidas imagens radiográficas de 20 *phantoms* constituídos de dentes posteriores, as quais foram avaliadas quanto à presença de cáries por seis radiologistas. Posteriormente, os dentes foram seccionados e analisados microscopicamente para obtenção do padrão ouro. Foram realizados a análise de variância e o teste-t ($p < 0,05$) com o objetivo de verificar a ocorrência de diferença estatisticamente significativa entre os valores de sensibilidade, especificidade, acurácia (área sob a curva ROC), valores preditivos negativos e positivos das modalidades de imagem. Os resultados mostraram diferenças significativas nos valores médios do *pixel* para os três sistemas digitais, sendo que o Digora Optime[®] (194,46) apresentou o maior valor, seguido pelo DenOptix[®] (168,34) e pelo CDR Wireless[®] (109,44). Os sistemas CDR Wireless[®] e Digora Optime[®] obtiveram maiores valores de sensibilidade em relação às demais modalidades de imagem, sendo estatisticamente significativa a diferença entre esses sistemas e o filme radiográfico convencional ($p = 0,032$). O Digora Optime[®] revelou o menor valor de especificidade e acurácia, o qual foi significativamente inferior ao do filme convencional ($p < 0,013$). O sistema digital CDR Wireless[®] demonstrou desempenho semelhante ao filme radiográfico Insight[®] na detecção de cáries proximais incipientes. Por conseguinte, no tocante à qualidade da imagem, o novo CDR

Wireless[®] pode ser uma alternativa viável para a utilização na clínica como método auxiliar de diagnóstico.

Palavras chave: Radiografia Dentária Digital; Diagnóstico por raios X; Cárie Dentária.

ABSTRACT

The aim of this study was to compare, both objectively and subjectively, the radiographic image quality of two storage phosphor plate systems (Digora Optime[®] e DenOptix[®]) with the results of the new complementary metal oxide silicon system, the CDR Wireless[®]. For the objective analysis, radiographs of an aluminum step wedge were obtained using the three digital systems. This analysis was carried out by pixel density measurements using the appropriate tool from the EMAGO[®]/Advanced software. The data of pixel measurements was analyzed statistically using Kruskal-Wallis test and Dunn multiple comparisons test ($p < 0.01$). For the subjective analysis, under *in vitro* and standardized conditions, twenty phantoms with posterior human teeth were radiographed using one conventional film (Insight[®] Kodak) and the three digital systems. Six radiologists recorded small approximal caries lesions on a 5-point confidence scale. The presence of caries was validated histologically. Two-way analysis of variance and post hoc t-test tested differences in sensitivity, specificity, accuracy, and positive predictive and negative predictive values. Differences were considered statistically significant when $p < 0.05$. The results showed significant differences in the pixel density values for the three digital systems, with the Digora Optime[®] presenting the greatest values (194.46), followed by the DenOptix[®] (168.34) and CDR Wireless[®] (109.44). The two-way analysis of variance and *post hoc t-tests* demonstrated that CDR Wireless[®] and Digora Optime[®] had higher sensitivity than almost all other image modalities, significantly higher than conventional film. Digora Optime[®] had the lowest specificity and accuracy of all systems. Statistically significant difference existed in specificity and accuracy between this system and the conventional film ($p < 0.05$), among the others systems there were no significant differences ($p > 0.05$). The results suggest that the performance of the new CDR Wireless[®] was comparable to those of the digital systems and that of the Insight[®] film. Therefore, regarding to

image quality, the new CDR Wireless[®] system may be used as an alternative, in clinical activities, as a diagnostic complementary method.

Key Words: Radiography, Dental, Digital; Diagnostic Imaging; Dental caries; ROC curve.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DA LITERATURA	5
3 PROPOSIÇÃO	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6 CONCLUSÃO	65
REFERÊNCIAS	66
ANEXO	73

1. INTRODUÇÃO

O advento da imagem radiográfica digital revolucionou a Radiologia. Essa revolução é consequência da inovação tecnológica no processo de aquisição das imagens radiográficas e do desenvolvimento de programas de computador, *softwares*, destinados à manipulação e transmissão das imagens. Atualmente, em países desenvolvidos, diversos sistemas radiográficos digitais são utilizados na Odontologia em substituição ao filme radiográfico convencional. Esses sistemas apresentam como vantagem, em relação ao filme, a diminuição no número de repetições, pois o contraste e a densidade da imagem digital podem ser modificados por meio da manipulação da imagem. Ademais, nesses sistemas digitais, não há necessidade de processamento químico-úmido, eliminando-se, assim, o efeito prejudicial do processamento radiográfico inadequado na qualidade da imagem e, principalmente, os seus receptores de imagem requerem, em princípio, menor dose de radiação, reduzindo em até 80% a dose de radiação necessária para a obtenção da imagem em relação aos filmes radiográficos convencionais (Tyndall *et al.*, 1998; Wenzel, 2000; Hintze *et al.*, 2002; Pai & Zimmerman, 2002; Moore, 2002).

Existem sistemas digitais diretos e semi-diretos. Os sistemas digitais diretos utilizam sensores do tipo CCD (*Charge Coupled Device*) ou CMOS-APS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor Active Pixel*) conectados ao computador por meio de um cabo. A principal característica destes sistemas é o aparecimento da imagem no monitor do computador logo após a exposição dos sensores aos raios X, o que representa significativa vantagem em relação aos demais sistemas digitais e ao filme radiográfico convencional (Van der Stelt, 2000; Sanderink & Miles, 2000).

Nos sistemas digitais semi-diretos, a imagem digital é obtida por meio de uma placa de armazenamento de fósforo (PSP – *Photostimulable phosphor plates*) que, ao ser exposta à radiação X, forma e armazena imagem latente,

sendo necessário o escaneamento da placa para a visualização da imagem radiográfica no monitor do computador. A leitura das placas, por meio de um *scanner* a laser, leva um tempo que varia de poucos segundos a alguns minutos, na dependência do tipo de sistema digital utilizado dentre os disponíveis no mercado (Van der Stelt, 2000; Wenzel, 2000; Hintze & Wenzel 2002; Hintze *et al.*, 2002; Pai & Zimmerman, 2002; Moore, 2002).

O sistema Digora Fmx[®], primeiro sistema de placa de armazenamento de fósforo projetado para a Odontologia, foi lançado em 1994 pela Soredex (Helsinki, Finlândia). Este sistema apresentava placas de fósforo brancas e azuis, mais espessas e rígidas que o filme radiográfico convencional, e a leitura de uma placa era realizada em aproximadamente 24 segundos. Recentemente, a nova versão deste sistema foi introduzida no mercado, o Digora Optime[®], que apresenta placa de fósforo mais fina e flexível em relação à versão anterior. O tempo de leitura da placa diminuiu significativamente, sendo a imagem visualizada no monitor do computador aproximadamente 6,4 segundos após a introdução da placa no *scanner*.

Outro sistema disponível no mercado que utiliza esta tecnologia é o sistema DenOptix[®], lançado em 1997 pela Gendex Dental Systems (Milan, Itália). Esse sistema apresenta placas de fósforo flexíveis e com dimensões semelhantes às dos filmes radiográficos convencionais intrabucais e extrabucais. O DenOptix[®] *Scanner* apresenta um tambor onde são acopladas as placas de fósforo para a leitura, possibilitando o escaneamento de até 29 placas simultaneamente. O tempo de leitura varia de 82 segundos para uma placa a 154 segundos para 29 placas. Esse *scanner* disponibiliza obtenção de imagens com resolução de 150, 300 ou 600 dpi (*dotes per inch*). Este sistema digital não apresenta mecanismo de dessensibilização interna, sendo necessária a exposição das placas de fósforo a uma fonte luz de intensidade elevada durante um determinado período para eliminação da imagem deixada nas placas após a etapa de leitura. De acordo com o fabricante, utilizando uma fonte de luz artificial fluorescente, com 1000 lux de

intensidade, a imagem residual é eliminada em 60 segundos, enquanto que se a intensidade for de 2000 lux ou mais, 30 segundos são suficientes para essa finalidade.

A Schick Technologies Inc. (Long Island City, USA) utiliza tanto a tecnologia CCD como a CMOS na fabricação de sensores digitais intrabucais diretos. O primeiro sistema digital disponibilizado por esse fabricante foi o sistema Schick Computed Dental Radiography (CDR) que empregava sensores do tipo CCD. Posteriormente, o sistema digital Schick CDR foi introduzido no mercado utilizando sensores com a tecnologia CMOS-APS, o que resultou na redução tanto do custo de fabricação do sistema como do consumo de energia em relação à versão anterior. De acordo Kitagawa *et al.* (2003) estas duas versões do sistema CDR apresentam qualidade de imagem semelhante. No ano de 2003, este mesmo fabricante lançou o sistema digital Schick CDR *Wireless*[®], com sensor do tipo CMOS que apresenta um transmissor de ondas de radiofrequência no seu interior em substituição ao tradicional cabo de fibra óptica.

O aludido sistema apresenta um novo método de aquisição de imagem radiográfica. Quando o sensor é exposto à radiação X, as informações da imagem radiográfica são transformadas em ondas de radiofrequência que, segundos depois, são captadas por uma unidade denominada antena receptora. Essa antena transforma as informações recebidas em sinais elétricos, que são convertidos em sinais digitais, e os transmite para o computador por meio de um cabo de fibra óptica conectado à saída USB do computador. No *software* próprio desse sistema, a imagem radiográfica pode ser visualizada e armazenada como imagem digital. Todos os eventos na aquisição da imagem radiográfica, desde a exposição até o aparecimento da imagem radiográfica no monitor do computador, ocorrem poucos segundos após a exposição do sensor aos raios X.

No tocante à possibilidade de visualização da imagem poucos segundos após a exposição dos sensores aos raios X, o sistema CRD *Wireless*[®] é equivalente aos sistemas digitais diretos, conectados por meio de um cabo ao

computador, sendo, portanto, desnecessária a etapa de leitura, escaneamento do receptor de imagem. Nos demais aspectos, o novo sistema apresenta-se vantajoso, uma vez que os sensores sem cabo simplificam a execução da técnica, trazendo, ainda, como benefício adicional, conforto ao paciente.

Estudos *in vitro*, tais como os de Hintze *et al.* (1994), Nielsen *et al.* (1996), Svanaes *et al.* (1996), Møystad *et al.* (1996), Tyndall *et al.* (1998), Syriopoulos *et al.* (2000), Nair & Nair (2001), Hintze *et al.* (2002) constataram que a eficácia da imagem digital é equivalente à do filme radiográfico convencional na detecção de cáries proximais.

Diversos estudos compararam a eficácia dos sistemas digitais diretos e de placa de armazenamento de fósforo na detecção de cáries (Syriopoulos *et al.*, 2000; Ganzerli, 2001; Haak *et al.*, 2001; Hintze & Wenzel, 2002; Jacobsen, 2004; Bahaskaram *et al.*, 2005; Hintze, 2006; Wenzel *et al.*, 2007). Entretanto, não existem trabalhos publicados na literatura com a finalidade de avaliar a qualidade da imagem do sistema CDR *Wireless*[®] e de compará-lo aos sistemas até então disponíveis. É necessário verificar se o novo sistema, pelo fato de dispor de novo método de aquisição da imagem, é capaz de apresentar maior acurácia no diagnóstico de cáries que os demais sistemas digitais.

Destarte, tem-se por objetivo efetuar análise comparativa entre a qualidade da imagem e precisão da detecção de cáries proximais incipientes do sistema digital CDR *Wireless*[®] e dos sistemas de placas de armazenamento de fósforos Digora Optime[®] e DenOptix[®].

2. REVISÃO DA LITERATURA

Hintze *et al.* (1994) compararam o desempenho de dois sistemas radiográficos digitais diretos e dois filmes radiográficos convencionais na acurácia do diagnóstico de cáries proximais em esmalte e cáries oclusais em dentina. Foram obtidas imagens digitais e radiografias convencionais de 66 dentes humanos posteriores, montados em blocos de cinco dentes, que apresentavam lesões de cárie naturais, caracterizadas por descoloração e sem cavitação. As imagens foram obtidas com dois sistemas do tipo CCD, RadioVisioGraphy® e Visualix® e com filmes radiográficos de sensibilidade D e E. Três examinadores interpretaram as imagens dos quatro sistemas utilizando cinco escores para determinar a presença ou ausência de cáries. Durante a avaliação das imagens digitais foi permitido aos avaliadores alterar o brilho e o contraste das imagens de acordo com o interesse. O padrão ouro utilizado foi o exame histológico dos cortes dos dentes. Foi possível observar que não houve diferença estatisticamente significativa entre as quatro modalidades de imagem na precisão da detecção de cáries proximais em esmalte. Utilizando o critério de cárie presente e provavelmente presente na detecção de cáries proximais, apenas 18% das lesões de cárie em esmalte foram detectadas radiograficamente. Os autores concluíram que o exame radiográfico quase não mostrou valor no diagnóstico de cáries em esmalte.

Wenzel *et al.* (1994) realizaram um estudo com o objetivo de avaliar o impacto do método de validação nos resultados da inspeção visual e da radiografia convencional no diagnóstico de cáries. Foram selecionados 66 terceiros molares que não apresentavam cavidades na face oclusal. Quatro avaliadores realizaram o exame visual das faces oclusais dos dentes e interpretaram as radiografias dos mesmos para determinar a presença ou

ausência de cárie. Posteriormente, os dentes foram incluídos em acrílico e seccionados (500-600µm). Os mesmos quatro avaliadores examinaram as secções dos dentes por dois métodos de validação: a avaliação histológica e o exame radiográfico. A validação histológica foi realizada utilizando um aumento de 12X, e a lesão foi considerada como presente quando uma área de desmineralização estivesse presente. Na validação radiográfica, as secções foram radiografadas e, em seguida, radiografias foram avaliadas com aumento de 2X. Cárie foi definida como presente quando uma zona radiolúcida foi observada. Para os dois métodos de validação, os examinadores utilizaram uma escala de quatro escores para determinar a presença e extensão da lesão. Avaliando-se as áreas sob as curvas ROC do exame visual, foi observado pouco impacto do método de validação (área de 0,74 para o exame radiográfico e de 0,75 para o exame histológico). Entretanto, para validação da radiografia convencional, a área sob a curva ROC foi maior para exame radiográfico das secções (0,69) em comparação ao exame histológico (0,63). Os autores concluíram que os resultados da eficácia de um método de diagnóstico estão sujeitos a influência do método de validação.

Matsuda *et al.* (1995) compararam a acurácia do diagnóstico de lesões proximais de imagens digitais do sistema Digora Fmx[®] com radiografias convencionais. Estes autores avaliaram, ainda, o efeito de doses reduzidas de exposição na precisão deste sistema digital. Para tanto, foram selecionados 31 dentes pré-molares humanos. A inspeção das 62 faces proximais, por transiluminação com fibra óptica (FOTI), revelou que 33 faces apresentavam descoloração ou lesões incipientes e 29 apresentavam-se hígidas. As radiografias convencionais foram obtidas com 60 kVp, 8 mA e 0,2s. As imagens digitais foram obtidas com os mesmos fatores do filme e com doses reduzidas a 1/2, 1/4 e 1/8. Três examinadores interpretaram as radiografias convencionais e os quatro grupos de imagens digitais. A análise das áreas sob as curvas ROC (*Receiver Operating Characteristic*) demonstrou que não houve diferença estatisticamente

significativa entre as modalidades de aquisição de imagens. Os pesquisadores sugeriram que a precisão do Digora[®] foi clinicamente comparável àquela apresentada pelo filme radiográfico convencional, com significante redução da exposição do paciente aos raios X.

Wenzel *et al.* (1995) compararam o desempenho de sistemas radiográficos digitais no diagnóstico de lesões oclusais e proximais e, ainda, avaliaram o efeito da compressão das imagens na acurácia para o diagnóstico. Para isso, foram radiografados 116 dentes humanos posteriores, com lesões naturais, desde descoloração até cavitação, utilizando três sistemas do tipo CCD (RadioVisioGraphy[®], Sens-A-Ray[®] e Visualix[®]) e um sistema de placa de armazenamento de fósforo, o sistema Digora Fmx[®]. Dezesesseis imagens da amostra, de cada sistema, foram selecionadas aleatoriamente, compactadas em quatro níveis de compressão irreversível por JPEG (*Joint Photographic Experts Group*) e misturadas às demais para serem interpretadas. As 528 imagens, de todas as modalidades de imagem, foram interpretadas por seis radiologistas utilizando uma escala de cinco escores. A validação dos resultados foi efetuada por meio da avaliação histológica. As áreas sob a curva ROC encontradas para as faces proximais foram de 0.611 (Digora Fmx[®]), 0.572 (Radiovisiography[®]) 0.594 (Sens-A-Ray[®]), e 0.596 (Visualix[®]). Não houve diferença significativa entre os quatro sistemas digitais, todos forneceram imagens úteis para diagnóstico. As imagens comprimidas apresentando tamanho correspondente a 8% do tamanho original da imagem não apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação às radiografias originais no diagnóstico de lesões de cárie.

Hintze & Wenzel (1996) avaliaram, *in vivo* e *in vitro*, a acurácia do diagnóstico de cáries proximais e oclusais de radiografias obtidas a partir do mesmo dente. Para tanto, foram obtidas radiografias de 130 dentes antes e após a

exodontia com os filmes radiográficos Ektaspeed Plus® e Ultraspeed®. Os dentes humanos posteriores foram organizados em grupos de cinco para a obtenção da radiografia após a exodontia. Quatro observadores, previamente treinados, interpretaram os dois grupos de radiografias, atribuindo-lhes notas conforme a presença de cáries. Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre a acurácia no diagnóstico de cáries proximais e oclusais das radiografias dos estudos *in vivo* e *in vitro*. No diagnóstico de cáries proximais apenas 23% das cáries proximais foram corretamente identificadas. Entretanto, de acordo com estes autores, como poucas faces híidas foram diagnosticadas como cariadas, em populações exibindo baixa prevalência de cárie e lenta progressão das lesões, este resultado pode ser preferível por minimizar o risco de tratamento de faces híidas. Constatou-se que, no diagnóstico de cáries, a precisão encontrada em estudos *in vitro* é comparável à encontrada em situações *in vivo*.

Møystad *et al.* (1996) compararam a precisão na detecção de cáries proximais de radiografias convencionais e imagens digitais do sistema Digora Fmx® não manipuladas, com imagens digitais submetidas a um processamento especial pelo *software* Image-Pro Plus® 1.2. A manipulação das imagens incluiu filtração para a melhoria da nitidez, ampliação da escala de contraste, correção gama e ajuste de distorção. Foram utilizados 50 dentes posteriores, 25 pré-molares e 25 molares, incluídos em um acessório que possibilitava o contato das faces proximais. A exposição dos receptores de imagem foi simultânea, o filme sem a lâmina de chumbo era mantido à frente da placa, resultando na padronização das radiografias e das imagens. Dez cirurgiões-dentistas interpretaram três modalidades de imagem: imagens digitais originais e manipuladas, com aumento de 4x e radiografias convencionais. Os avaliadores utilizaram cinco escores para avaliar 95 faces proximais quanto à presença de cáries de esmalte e de dentina nas três modalidades de imagem. Os resultados da avaliação foram comparados com o padrão ouro obtido por meio da avaliação

histológica. Não houve diferença significativa entre as imagens digitais originais e as radiografias convencionais. As imagens manipuladas demonstraram precisão para o diagnóstico de lesões proximais, tanto em esmalte como em dentina, significativamente maior do que as demais modalidades de imagem. Os autores sugeriram que os sistemas de placas de armazenamento de fósforo têm potencial para tornarem-se uma alternativa ao filme convencional no diagnóstico de cáries proximais.

Nielsen *et al.* (1996) realizaram um estudo com o objetivo de comparar a acurácia de radiografias convencionais e das imagens digitais obtidas com o sistema Digora Fmx[®] na detecção de cáries proximais em molares decíduos e relacionar a extensão radiográfica das lesões à presença ou à ausência de cavitação nas faces dos dentes. Os autores selecionaram 46 dentes, apresentando faces híginas e cariadas, que foram organizados em grupos de cinco e seis elementos, incluídos em blocos de gesso e radiografados utilizando os filmes radiográficos Ektaspeed Plus[®] e as placas de fósforo do sistema Digora[®]. As radiografias e as imagens digitais foram avaliadas por três examinadores, que atribuíram notas de acordo com a presença ou ausência de cavidade. Em seguida, os mesmos determinaram a profundidade radiográfica das lesões de cárie. Para a validação da presença ou ausência de cavidade e da extensão da lesão, os três examinadores inspecionaram as faces dos dentes polidos, sob luz direta, com o auxílio de uma sonda exploradora. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as radiografias convencionais e as imagens digitais quanto ao desempenho no diagnóstico de cárie. A maioria das lesões classificadas radiograficamente como sendo em dentina, apresentavam-se cavitadas.

Svanaes *et al.* (1996) compararam o sistema digital Digora Fmx[®] com o filme radiográfico convencional Ektaspeed[®] na detecção de cáries proximais, considerando o fator magnificação da imagem e a influência de elementos de fundo no monitor do computador. As placas e os filmes foram expostos simultaneamente para obtenção das radiografias e das imagens digitais de 50 dentes humanos extraídos empregados neste estudo. Dez avaliadores interpretaram 95 faces proximais em cada uma das quatro modalidades de imagem: radiografias convencionais, utilizando negatoscópio com máscara, porém, sem lupa; imagem digital ao monitor, do mesmo tamanho que o filme radiográfico; imagem digital, com aumento de 4X, podendo apresentar fundo preto ou texto e gráfico ao redor. Os resultados foram validados pelo exame histológico das faces dos dentes. Na análise dos resultados, foram obtidas as áreas sob a curva ROC para cada modalidade de imagem. Nas lesões em esmalte, a variação inter-examinador das áreas sob as curvas ROC foi mais baixa para as radiografias convencionais e mais alta para as imagens digitais com texto e gráficos. Já a variação interexaminador para as imagens digitais com fundo preto foi próxima à obtida pela radiografia convencional. Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre os filmes radiográficos convencionais e o sistema digital no diagnóstico de cáries proximais. A magnificação das imagens aumentou a precisão do diagnóstico de cáries proximais das imagens digitais.

Price & Ergül (1997) realizaram estudo com a finalidade de comparar o filme radiográfico convencional Ektaspeed Plus[®] com o sistema digital Sens-A-Ray[®] na detecção de lesões proximais naturais e artificiais. Foram radiografados 20 dentes pré-molares extraídos, sendo que 10 faces proximais eram híginas, 15 apresentavam lesões de cárie e 15 foram submetidas a preparos com brocas esféricas de tamanhos 1/2, 2 e 6. Os dentes foram agrupados e incluídos em blocos de resina acrílica. As imagens foram avaliadas por sete cirurgiões-dentistas e sete estudantes da graduação, que classificaram a presença de cárie nas faces

proximais por meio da atribuição de escores. Posteriormente, os dentes foram seccionados e foi realizada a avaliação histológica. As áreas sob as curvas ROC e os valores de sensibilidade foram maiores para as imagens das lesões artificiais quando comparado com as naturais. Os autores concluíram que o filme radiográfico foi significativamente superior em relação ao sistema digital do tipo CCD na detecção de cáries proximais. Na interpretação das faces cariadas, os avaliadores apresentaram desempenho equivalente. Entretanto, os estudantes foram menos precisos na avaliação das faces hígidas.

Versteeg *et al.* (1997), em um estudo *in vivo*, compararam a profundidade de cáries proximais nas imagens do sistema digital Digora Fmx® e as obtidas por meio de filmes radiográficos convencionais Ektaspeed®. A primeira etapa desta pesquisa foi realizada *in vitro* com o objetivo de avaliar o efeito da radiação secundária, produzida ao serem expostos filme radiográfico duplo sem a lâmina de chumbo e uma placa de armazenamento de fósforo, na qualidade da imagem radiográfica. Os autores constataram que o contraste não foi reduzido, assim, a qualidade das imagens não foi diminuída. Esta observação possibilitou que as placas de armazenamento de fósforo e os filmes fossem expostos simultaneamente no estudo *in vivo*. Foram obtidas 240 radiografias interproximais convencionais e 240 imagens digitais de 120 pacientes. Três radiologistas e um cariologista avaliaram as imagens radiográficas e classificaram a profundidade das cáries proximais de acordo com quatro escores. Apenas 60 faces proximais que receberam o mesmo escore foram incluídas no estudo. As imagens selecionadas foram agrupadas aleatoriamente em dois grupos e avaliadas em duas sessões por seis cirurgiões-dentistas, com o intervalo de uma semana entre as avaliações. Os autores observaram diferença estatisticamente significativa entre as modalidades de imagens, sendo a extensão da cárie proximal subestimada nas imagens digitais e superestimada nas radiografias convencionais.

White & Yoon (1997) compararam o desempenho do sistema CDR® e do filme radiográfico Ektaspeed Plus® no diagnóstico de cáries proximais. Foram obtidas imagens radiográficas de 790 dentes humanos anteriores e posteriores. Dentre estes, foram selecionadas 320 faces proximais para serem avaliadas. Estas faces proximais apresentavam-se hígidas, com lesões limitadas às metades externa e interna do esmalte e lesões em dentina. As imagens foram avaliadas por dezesseis cirurgiões-dentistas quanto à presença ou ausência de cárie proximal, utilizando uma escala de cinco escores. As imagens radiográficas dos molares e incisivos foram interpretadas por dez destes profissionais, enquanto que as dos caninos e pré-molares, por onze examinadores. Após os dentes serem seccionados ao meio no sentido mésio-distal, foram avaliados com um aumento de 30x para determinar a presença e a extensão da lesão. Os autores observaram que entre as duas modalidades de imagem não houve diferença estatisticamente significativa. Os autores observaram certa relutância dos examinadores em atribuir notas de cárie ao interpretarem as imagens digitais. Os mesmos sugeriram que os dois métodos de registro de imagem foram equivalentes.

Tyndall *et al.* (1998) avaliaram a acurácia do sistema digital do tipo CCD Sidexis® e o efeito da manipulação do contraste e do brilho no diagnóstico de cáries proximais, em relação ao filme radiográfico Ektaspeed Plus®. Foram obtidas imagens radiográficas de 60 dentes extraídos, 24 posteriores e 36 anteriores, sob condições padronizadas. Essas imagens foram divididas em três categorias: imagem digital sem manipulação do contraste e do brilho, imagem digital com manipulação do contraste e do brilho e filme radiográfico convencional. Seis examinadores treinados avaliaram 120 faces proximais, em cada uma das três modalidades de imagem, classificando cada face de acordo com cinco escores quanto a presença ou ausência de cáries. O diagnóstico foi confirmado pela avaliação histológica das faces proximais dos dentes. Os autores observaram que a imagem digital sem manipulação do brilho e do contraste apresentou acurácia

equivalente à do filme convencional na detecção de cáries proximais. As imagens com manipulação, contudo, mostraram-se inferiores às demais.

Ludlow & Abreu Jr. (1999) compararam o desempenho de radiografias convencionais e imagens digitalizadas, interpretadas na tela do monitor do computador e do laptop, na detecção de lesões proximais. Foram radiografados 64 dentes humanos posteriores com faces proximais hígidas e portadoras de descolorações ou pequenas cavidades. Seis cirurgiões-dentistas interpretaram as imagens quanto à presença e extensão das lesões de cárie. O padrão ouro foi obtido por meio da avaliação histológica das faces. Não houve diferença estatisticamente significativa entre as modalidades de exibição da imagem radiográfica no diagnóstico de lesões. Os laptops forneceram qualidade semelhante à dos filmes radiográficos e aos monitores dos computadores.

Almeida *et al.* (2000) confrontaram a qualidade das imagens adquiridas através do sistema DenOptix® em três diferentes resoluções (150, 300 e 600 dpi) e, além disso, avaliaram a eficácia de alguns recursos de manipulação disponíveis no *software* do sistema. Como objetos dessa análise, foram utilizados quinze dentes com limas nº8 em seus condutos radiculares. As mensurações endodônticas foram realizadas por cinco avaliadores. Os resultados revelaram diferença significativa entre as distintas resoluções empregadas. As imagens adquiridas em 150dpi apresentaram qualidade inferior às obtidas em 300 e 600dpi, as quais se mostraram equivalentes. Por outro lado, os recursos digitais empregados não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. Concluíram os autores, portanto, que as imagens de 150dpi exibiram qualidade inferior às adquiridas com 300 e 600dpi e que, estas últimas, por proporcionarem um nível similar de eficácia, apresentaram condições satisfatórias para a análise radiográfica. Ademais, no tocante à aplicação dos diferentes

recursos de manipulação avaliados, em face dos resultados equivalentes aos obtidos nas mensurações endodônticas, os autores concluíram que a escolha de se trabalhar com um recurso isoladamente ou em associação está condicionada ao critério subjetivo de seleção.

Syriopoulos *et al.* (2000) compararam dois filmes radiográficos, Ektaspeed Plus® e Dentus M2 Comfort®, dois sistemas digitais do tipo CCD, Sidexis® e Visualix® e dois sistemas digitais de placa de armazenamento de fósforo, Digora Fmx® e DenOptix®, na detecção de cáries proximais. Os dentes, 60 pré-molares, foram montados em blocos de gesso de cinco unidades. Durante a obtenção das imagens radiográficas interproximais dois blocos, superior e inferior, foram articulados. As leituras das placas do DenOptix® foram efetuadas com as resoluções de 300 e 600dpi. As imagens foram avaliadas por quatro radiologistas e por quatro cirurgiões-dentistas que por meio da atribuição de escores conforme a presença e extensão das lesões de cáries. A validação foi realizada por meio da avaliação histológica das secções dos dentes. Os autores observaram que não houve diferença estatisticamente significativa no diagnóstico de cáries interproximais entre os filmes radiográficos, Ektaspeed Plus® e Dentus M2 Comfort®, e entre os sistemas digitais Sidexis® e Digora Fmx®. As acurácias destes sistemas digitais foram comparáveis às dos filmes radiográficos convencionais. O sistema DenOptix®, com 300dpi, foi significantemente inferior aos filmes radiográficos, porém, não diferiu das imagens deste sistema obtidas com a resolução de 600 dpi. Os resultados mostraram que a extensão das lesões não afetou o desempenho dos sistemas. Observou-se que os radiologistas forneceram o diagnóstico radiográfico mais próximo da verdadeira extensão da lesão em todas as modalidades de imagem estudadas. Os autores afirmaram, ainda, que a habilidade dos dentistas em detectar corretamente as lesões é o principal fator no diagnóstico radiográfico.

Paganini (2001) realizou estudo com finalidade de estabelecer tempos alternativos àqueles fornecidos pelo fabricante para a total dessensibilização das placas de fósforo do sistema DenOptix®. Nesse estudo, a autora levou em consideração duas variáveis: a intensidade luminosa do negatoscópio usado no processo e a dose de radiação empregada nas placas. Foram utilizados quatro negatoscópios de intensidades luminosas diferentes, sendo dois de luz fluorescente comum e dois do sistema *blacklight*. As intensidades luminosas dos negatoscópios variavam de 1700 a 2700 lx. Observou-se que, mesmo depois de decorridos os tempos recomendados para cada valor de intensidade luminosa, havia, apesar de mínima, uma quantidade de imagem latente nas placas, ou seja, estas não se apresentavam completamente dessensibilizadas. Concluiu-se que, para calcular o tempo real requerido no processo de dessensibilização das placas DenOptix®, além da intensidade luminosa do negatoscópio, é imperioso considerar a dose de radiação empregada na sensibilização das aludidas placas.

Ganzerli (2001) comparou os sistemas digitais Digora Fmx® e DenOptix® com o filme radiográfico Ektaspeed Plus® na detecção de cáries proximais e oclusais, comparando os resultados da avaliação radiográfica com os resultados da avaliação histológica (padrão ouro). As imagens de 48 dentes posteriores apresentando superfícies hígidas ou portadoras de lesões de cárie de diferentes extensões foram interpretadas por 13 alunos do último ano da graduação e um radiologista. Os avaliadores classificaram as superfícies proximais quanto à presença e profundidade das lesões, conferindo escores de 0 a 3. Observou-se que não houve diferença estatisticamente significativa entre os sistemas digitais e o filme radiográfico no diagnóstico de cáries oclusais e proximais.

Haak *et al.* (2001) realizaram um estudo com o objetivo de comparar radiografias convencionais e imagens digitais quanto à decisão do tratamento restaurador com base na interpretação radiográfica, bem como avaliar um novo procedimento para a melhoria do contraste. Para realização desta pesquisa, 60 dentes humanos foram agrupados, articulados para simular a técnica interproximal e, posteriormente, radiografados utilizando o filme radiográfico Ultraspeed[®], o sistema Dexis[®] e sistemas Digora Fmx[®]. Dez cirurgiões-dentistas interpretaram as imagens e relacionaram o estado das faces proximais a necessidade de tratamento restaurador. As imagens adquiridas pelo Dexis[®] foram avaliadas duas vezes, visto que uma ferramenta específica de manipulação do contraste deste sistema, para a melhoria do contraste, também foi avaliada. O exame inspecional das faces dos dentes foi correlacionado às características radiográficas e, assim, determinou-se que o limite para o tratamento restaurador seria a presença de cavitação. Não foi constatada diferença estatisticamente significativa entre as áreas sob as curvas ROC das modalidades de imagem radiográficas estudadas.

Tosoni *et al.* (2001) avaliaram a concordância intra e interexaminador e a eficácia do diagnóstico de cáries proximais e oclusais utilizando radiografia convencional e um sistema digital de placa de armazenamento de fósforo. Nessa pesquisa, 16 dentes humanos pré-molares e molares foram montados em blocos com o objetivo de simular a região posterior do arco dentário, com as faces proximais em contato. O filme radiográfico Ektaspeed Plus[®] e a placa de fósforo do sistema Digora Fmx[®] foram utilizados na obtenção das imagens radiográficas. As imagens foram interpretadas duas vezes, com um intervalo de 15 dias, por dois radiologistas. Os examinadores avaliaram as imagens digitais exibidas no modo normal e, também, após a utilização de ferramentas para magnificação da imagem, três dimensões e inversão. O resultado da avaliação histológica das secções dos dentes foi utilizado como padrão ouro. Os dois examinadores apresentaram resultados equivalentes em relação à concordância intraexaminador

utilizando a radiografia convencional, sendo correspondente a uma boa concordância. Entretanto, a concordância interexaminador nesta modalidade de imagem foi regular. Para a imagem digital, os valores de concordância intra e interexaminador variaram, respectivamente, de regular a ótimo e de regular a bom. No diagnóstico de cáries proximais a sensibilidade variou de moderada a baixa. Tanto para a radiografia convencional como para as modalidades de imagem digital com aumento de 2x e 3x, o valor de sensibilidade encontrado foi de 0,50. Para as demais modalidades de imagem digital os valores variaram entre 35% e 58%. O valor de especificidade foi equivalente a 100%, para todas as modalidades de imagem.

Nair & Nair (2001), em um estudo *in vitro*, compararam dois filmes, Insight® e Ektaspeed Plus®, e o sistema digital CDR®, no diagnóstico de lesões proximais. Foram distribuídos em blocos de gesso 50 dentes posteriores, molares e pré-molares, que apresentavam faces proximais com descolorações ou cavitações. Previamente a obtenção das imagens, os parâmetros de exposição foram determinados por um estudo piloto. As imagens radiográficas dos dentes foram interpretadas por oito examinadores de diferentes áreas da Odontologia. A avaliação histológica das faces foi utilizada na determinação do padrão ouro. Constatou-se por meio da análise das áreas sob as curvas ROC que não existiu diferença estatisticamente significativa entre os filmes radiográficos e o sistema digital CDR®. As lesões em esmalte foram mais difíceis de serem detectadas radiograficamente. O filme Insight® apresentou os mais altos valores de sensibilidade e especificidade, entretanto, as diferenças entre estes valores não foram significativas. Apenas foi observada diferença significativa na comparação entre os examinadores, sendo o desempenho do radiologista superior em relação aos demais profissionais.

Hintze & Wenzel (2002) avaliaram a influência do método de validação, exame histológico (padrão ouro) e a avaliação de radiografias convencionais (controverso padrão ouro), no diagnóstico de cáries proximais e oclusais por meio da comparação de oito modalidades de imagem radiográfica. Foram radiografados 177 dentes humanos extraídos, 147 molares e 31 pré-molares, sob condições padronizadas, utilizando seis sistemas digitais do tipo CCD das marcas MPDx[®], Dixi[®], Sidexis[®], Visualix[®] e duas gerações do RadioVisioGraphy[®], e dois filmes radiográficos, Ektaspeed Plus[®] e Insight[®]. As imagens radiográficas foram avaliadas por quatro examinadores que utilizaram cinco escores para o diagnóstico de cáries proximais e oclusais. A presença de cárie foi validada pelo exame histológico e radiográfico. No estabelecimento do padrão ouro controverso, foi utilizado o consenso de dois radiologistas na avaliação radiográfica das faces dos dentes utilizando o filme radiográfico convencional Ektaspeed Plus[®]. Tanto para o diagnóstico de cáries proximais como para o de cáries oclusais, os valores foram maiores quando o método de validação radiográfico foi utilizado. As áreas sob as curvas ROC para a detecção de cáries proximais foram significantivamente maiores com o método de validação radiográfico quando comparado com o histológico. Constatou-se que a comparação do desempenho de modalidades de imagem radiográfica foi fortemente influenciada pelo padrão ouro utilizado.

Hintze *et al.* (2002) compararam a acurácia do diagnóstico de cáries proximais e oclusais de quatro sistemas de armazenamento de fósforo e de um filme radiográfico. Nessa pesquisa, os sistemas digitais DenOptix[®], o Cd-Dent[®] e o Digora Fmx[®], com as placas branca e a azul, e o filme radiográfico Ektaspeed Plus[®], foram utilizados na obtenção de radiografias de 190 dentes posteriores incluídos em blocos de gesso que apresentavam 5 unidades. As placas de armazenamento de fósforo foram submetidas a dois tempos de exposição, correspondendo respectivamente a 10% e 25% do tempo de exposição necessário para a obtenção da radiografia com o filme convencional. Quatro examinadores

avaliaram as imagens e atribuíram escores, correspondentes a presença ou ausência de cárie, às faces dos dentes. O exame histológico foi empregado como método de validação. Os resultados demonstraram que para o tempo de exposição maior não houve diferença significativa na precisão do diagnóstico de cáries proximais entre os sistemas digitais Digora Fmx[®], DenOptix[®] e o filme Ektaspeed Plus[®]. Estes, por sua vez, apresentaram maior acurácia que o sistema Cd-Dent[®]. Na comparação das modalidades de imagem utilizando o menor tempo de exposição, o sistema Digora Fmx[®], com placa branca, apresentou acurácia significativamente maior quando comparado aos demais sistemas digitais e desempenho semelhante ao do filme radiográfico convencional. Observou-se que o tempo de exposição influenciou no diagnóstico de cáries nas imagens obtidas com os sistemas digitais DenOptix[®] e Digora Fmx[®] com a placa azul.

Hintze & Wenzel (2003) avaliaram quatro métodos de validação utilizados no diagnóstico de lesões de cárie proximais e oclusais. Os resultados obtidos por meio do exame clínico, exame radiográfico convencional e avaliação histológica de cortes seriados de 373 faces proximais e 158 faces oclusais foram comparados. Na comparação e avaliação do exame histológico com cortes seriados e do exame após secção ao meio do dente, foram utilizados outros 60 dentes, resultando em mais 113 faces proximais e 53 faces oclusais. O processo de validação em todos os métodos foi realizado por apenas um examinador. Dois limiares foram utilizados no diagnóstico de cárie para cada um dos métodos, tanto no exame clínico (1. hígido *versus* escores de cárie e 2. sem cavitação *versus* com cavitação), bem como no exame radiográfico e histológico (1. hígido *versus* escores de cárie e 2. sem comprometimento da dentina *versus* com comprometimento). Observou-se, no geral, que existiu grande diferença nos resultados obtidos com os métodos estudados. De acordo com esses autores a avaliação histológica de cortes seriados preenche, quase completamente, todos os critérios universais que de um método de validação considerado padrão ouro.

Jacobsen *et al.* (2004) compararam as medidas de extensão de lesões de cáries proximais determinadas em imagens radiográficas de quatro sistemas digitais com os resultados de mensurações histológicas. Foram incluídos em blocos de silicone 177 dentes humanos posteriores, contendo três dentes testes em cada bloco. As imagens radiográficas foram adquiridas pelos sistemas do tipo CCD da marca Dixi[®] e Sidexis[®] e pelos sistemas de armazenamento de fósforo, Digora Fmx[®] e DenOptix[®]. As mensurações da extensão das lesões nas radiografias e nas fotografias da secção histológica dos dentes que apresentava maior extensão da lesão foram realizadas por quatro examinadores, dois estudantes de Odontologia e dois radiologistas experientes, por meio do *software* Pordios[®] que efetuou os cálculos utilizando a espessura do esmalte na face proximal como base. O padrão ouro foi definido como a média das medidas de extensão das lesões nas secções histológicas determinadas pelos quatro examinadores. O sistema digital Digora Fmx[®] foi a modalidade de imagem que menos subestimou a profundidade das lesões de cárie, seguido pelo Dixi[®], DenOptix[®] e Sidexis[®]. As diferenças entre os sistemas Digora Fmx[®] e o Sidexis[®] e entre os sistemas Dixi[®] e Sidexis[®] foram estatisticamente significativas. A análise de regressão linear indicou que os coeficientes foram fracos para todos os sistemas e observadores, evidenciando a inconsistência das mensurações radiográficas. As extensões das lesões nas imagens adquiridas com o sistema DenOptix[®] apresentaram menor correlação com as medidas histológicas. Constatou-se que as mensurações de lesões de cárie proximais nas radiografias realizadas por observadores experientes foram mais precisas quando obtidas por meio dos sistemas digitais Dixi[®] e Digora Fmx[®] em relação àquelas executadas nas imagens adquiridas com os sistemas Sidexis[®] e DenOptix[®].

Bhaskaram *et al.* (2005) compararam três sistemas radiográficos intraorais, avaliando a qualidade da imagem obtida em relação à variação da exposição radiográfica. Nesse estudo, os sistemas analisados foram o filme

Insight[®], o sistema Digora Fmx[®] e o sistema Visualix USB[®]. Esses sistemas foram utilizados na obtenção de diversos grupos de imagens de dois maxilares, região de molares superior e inferior, com variação do tempo de exposição no intervalo de 10ms a 2000ms. As imagens digitais foram avaliadas diretamente no monitor do computador e as radiografias, no negatoscópio. As imagens radiográficas foram analisadas por cinco examinadores que utilizaram cinco escores para determinar a qualidade da imagem radiográfica (1-estruturas importantes não visualizadas; 2-estruturas importantes pouco visualizadas; 3-estruturas importantes visualizadas; 4- estruturas importantes visualizadas adequadamente; 5- estruturas importantes visualizadas na forma ideal). A imagem do filme Insight[®] apresentou excelente qualidade de imagem (4). Nenhum dos sistemas digitais atingiu esse escore em nenhum dos grupos de exposição radiográfica estudados. O escore máximo atingido pelos sistemas digitais foi o equivalente à visualização adequada das estruturas importantes (3). Entretanto, os sistemas digitais apresentaram uma visualização adequada das estruturas sob doses de exposição muito baixas. Quando comparados ao filme convencional, a redução da dose, com manutenção da qualidade de imagem, foi de 20% para o sistema Visualix[®] USB e de 70% para o sistema Digora Fmx[®]. Os autores concluíram que, em termos de qualidade subjetiva de imagem, o filme convencional Insight[®] obteve a melhor performance que os sistemas digitais estudados. Esses sistemas, contudo, apresentaram a capacidade de fornecer imagens radiográficas adequadas sob doses de radiação mais baixas que as aceitáveis no filme convencional.

Pontual (2005) avaliou a eficácia dos sistemas digitais Digora Fmx[®], com as placas de fósforo branca e azul, e DenOptix[®], assim como do filme radiográfico Insight[®], na detecção de cáries proximais incipientes em esmalte, e comparou os resultados obtidos na avaliação radiográfica com a mensuração histológica de extensão destas lesões. Em seguida, verificou se o aumento da

extensão da lesão cariosa acarretaria maior detecção radiográfica das mesmas. Foram obtidas imagens interproximais de 20 *phantoms*, constituídos de dentes humanos, que foram avaliadas por 17 cirurgiões-dentistas quanto à presença e extensão de lesões cariosas, por meio da atribuição escores. Posteriormente, os dentes foram seccionados e analisados microscopicamente para obtenção do padrão ouro. As faces que apresentaram cárie em esmalte, 64 (42,1%), foram avaliadas quanto a sua extensão na camada de esmalte. Utilizou-se o teste de Friedman ($p < 0,05$) para verificar se existiu diferença estatisticamente significativa entre as modalidades de imagem radiográficas. Para revelar quais métodos em questão apresentaram diferença estatisticamente significativa, foi aplicado o teste não-paramétrico de comparações múltiplas ($p < 0,05$). Os resultados não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas digitais e o filme radiográfico no diagnóstico de cáries proximais em esmalte, mas todas as modalidades de imagem divergiram do padrão ouro. Quando as avaliações radiográficas foram analisadas no tocante à extensão da lesão de cárie em relação à camada de esmalte, constatou-se que o aumento da extensão da lesão cariosa não possibilitou maior detecção radiográfica.

Hintze (2006) comparou a acurácia do diagnóstico de cárie de dois programas utilizados para a interpretação de imagens digitais obtidas por meio de quatro sistemas digitais. Nesse estudo *in vitro*, 122 dentes, sob condições padronizadas, foram montados em blocos de três dentes, dois dos quais serviram apenas para simulação do ponto de contato. Esses blocos foram radiografados utilizando-se os sistemas Digora Fmx[®] e DenOptix[®], Dixi[®] e Sidexis[®]. As imagens foram dispostas e examinadas em duas modalidades de programas: o programa próprio de cada sistema digital e no Adobe Photoshop[®]. Seis examinadores treinados avaliaram todas as imagens radiográficas obtidas em cada uma das quatro modalidades de imagem e classificaram cada face de acordo com cinco escores quanto à presença ou à ausência de cáries proximais e oclusais. O

padrão ouro foi determinado pela avaliação dos cortes histológicos dos dentes. A acurácia do diagnóstico dos programas foi expressa pelas áreas da curva ROC. As imagens obtidas com os sistemas Digora Fmx[®], DenOptix[®], Dixi[®] e Sidexis[®] não apresentaram diferença significativa entre os dois programas avaliados. O autor concluiu que não existiu diferença significativa entre os programas de visualização de imagens digitais estudados no diagnóstico de cáries proximais e oclusais.

Wenzel *et al.* (2007) compararam a acurácia do diagnóstico de cárie dos sistemas que disponibilizam imagens em mais de uma resolução de bit. Para a realização deste estudo *in vitro*, foram radiografados 80 dentes humanos posteriores. Foram utilizados os seguintes sistemas digitais: Digora Optime[®] (Soredex), nas resoluções alta de 8-bit e resolução super de 8-bit, VistaScan[®] (Dürr), nas resoluções alta e máxima de 8-bit e nas resoluções alta e máxima de 16-bit, e Dixi2[®] (Planmeca), nas resoluções de 8 e 12 bits. O filme convencional *Insight*[®] foi incluído no estudo, como método radiográfico de referência. Seis observadores atribuíram escores às lesões de cárie em cada face dos dentes da amostra. Os dentes foram, posteriormente, seccionados e avaliados microscopicamente, para validação dos resultados. A análise de variância testou as diferenças entre os valores de sensibilidade, especificidade, valores preditivos positivo e negativo, e a acurácia (verdadeiro positivo e verdadeiro negativo) entre dos sistemas avaliados. Nesse estudo, foram examinadas 160 faces proximais. Os resultados da avaliação histológica mostraram que 63% das faces eram híginas, 31% das faces apresentavam cárie em esmalte e 6% apresentavam cárie em dentina. A comparação dos valores de sensibilidade não mostrou diferença significativa entre a maioria dos sistemas, exceto para o VistaScan[®], com resolução máxima de 8-bit, que apresentou maior sensibilidade que nas resoluções alta e máxima de 16-bit do mesmo sistema. A resolução super do

Digora Optime[®] apresentou maior valor de sensibilidade quando comparado a praticamente todas as outras modalidades. Entretanto, obteve valor de especificidade significativamente menor em relação aos valores dos outros sistemas, dentre os quais não houve diferença significativa. A acurácia do Digora Optime[®], com resolução alta, foi significativamente menor quando comparado a do Dixi2[®] e a do VistaScan[®] nas modalidades de resolução máxima. A diferença entre as demais modalidades não foi estatisticamente significativa. Os autores concluíram que a acurácia no diagnóstico de cárie parece ter uma leve influência do aumento da resolução de bit, de 8 para 12-bit ou 16-bit, das marcas de sistemas de radiografia digital. Entre os sistemas, a resolução super do Digora Optime[®] disponibiliza imagens com maior sensibilidade e menor especificidade em relação à maioria dos demais sistemas estudados.

3. PROPOSIÇÃO

Neste trabalho, propusemo-nos a realizar um estudo comparativo entre a qualidade da imagem do sistema digital CDR Wireless® e das imagens de dois sistemas digitais de placas de armazenamento de fósforos, o sistema Digora Optime® e o DenOptix®, por meio de duas avaliações:

1. Avaliação objetiva, pela análise dos valores médios dos *pixels* das imagens radiográficas dos sistemas digitais;
2. Avaliação subjetiva, pela determinação da eficácia desses sistemas no diagnóstico radiográfico de lesões de cáries proximais incipientes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

De início, cumpre ressaltar que o presente estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Odontologia de Piracicaba, da Universidade Estadual de Campinas – FOP/UNICAMP - Protocolo CEP nº 074/2003 (Anexo 1).

Fonte de Radiação e Fatores

Um aparelho de raios X General Electric, modelo 1000 (General Electric Co., Milwaukee, WI, EUA) foi utilizado, operando a 65kVp e 10mA, com filtro de alumínio de 1,5mm de espessura.

Condições para Obtenção das Imagens Radiográficas

Para auxiliar no posicionamento dos receptores de imagem e dos objetos a serem radiografados, bem como para padronizar as distâncias foco-receptor de imagem e objeto-receptor de imagem em 34cm e 2cm respectivamente, foi empregado um suporte em acrílico, o qual possibilitou a incidência do feixe de raios X perpendicular ao plano onde foram posicionados os receptores de imagem e os objetos a serem radiografados. O mencionado suporte apresenta aro fixo para a orientação do cilindro do aparelho de raios X, uma base para o apoio do objeto a ser radiografado, um dispositivo para a manutenção do receptor de imagem e uma régua milimetrada. (Figura 1).

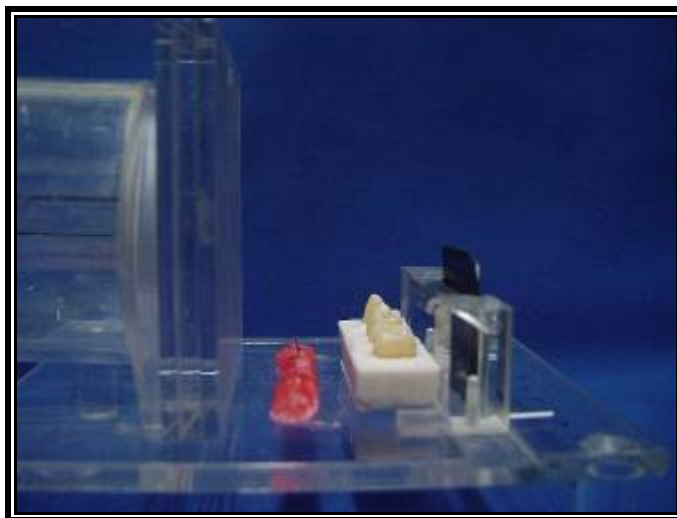


Figura 1 - Dispositivo padronizador.

Além disso, uma placa em acrílico, apresentando 12mm de espessura, foi colocada entre a fonte de raios X e o objeto a ser radiografado para simular a atenuação da radiação X pelos tecidos moles (Syriopoulos et al., 2000; Hintze & Wenzel, 2002; Hintze *et al.*, 2002; Hintze & Wenzel, 2003; Jacobsen *et al.*, 2004).

Os tempos de exposição utilizados na aquisição das imagens radiográficas foram determinados em estudo piloto. A seleção dos tempos de exposição foi realizada por meio da avaliação subjetiva, realizada por três radiologistas, das imagens obtidas com tempos de exposição variando entre 0,18s e 0,50s.

Cada radiologista elegeu, no grupo de imagens de cada sistema, a imagem radiográfica que apresentou melhor qualidade para o diagnóstico de cáries. Quando não foi constatada diferença entre a qualidade subjetiva da imagem em dois tempos de exposição, o menor tempo de exposição foi selecionado.

A partir da análise dos observadores, determinou-se o tempo de 0,4s para a exposição da placa do sistema Digora Optime[®], de 0,2s para o sensor do sistema CDR Wireless[®], 0,3s para a do sistema DenOptix[®], e, finalmente, de 0,4s

para a região de molares e 0,3s para a região de pré-molares utilizando o filme radiográfico Insight®.

Sistemas Digitais e filme radiográfico

Sistema CDR Wireless®

O sistema CDR Wireless® (Schick Technologies, Inc., Long Island City, USA) e seu respectivo sensor de número 2 foram empregados na presente pesquisa. Esse sensor que apresenta dimensões externas de 30 X 43mm, espessura de, aproximadamente, 10,5mm e área ativa de 25,6 X 36mm (Figura 2 A). Este sistema digital utiliza tecnologia do tipo CMOS, sendo o sensor formado por uma face ativa composta por *pixels* com tamanho de 40 X 40µm e uma matriz ativa de 640 X 900 *pixels*. Na sua face posterior, não ativa, há uma bateria responsável pelo suprimento de energia para o processo de aquisição da imagem e conversão das informações da imagem radiográfica em ondas de radiofrequência acima da faixa de 2.4GHz (Figura 2 B).



Figura 2 - Sensor do sistema CDR Wireless®. A- Face posterior (bateria); B- Face ativa anterior.

A *base station* deste sistema é composta por uma antena receptora e uma interface USB. A antena receptora capta os sinais de radiofrequência

correspondentes às informações da imagem radiográfica proveniente do sensor, procede a desmodulação, ou seja, separa a informação original das ondas de radiofrequência e transfere a informação para a interface USB, conectada diretamente ao computador (Figura 3). Na antena receptora, a captação de radiofrequência apresenta três canais (2417.5MHz, 1441.75MHz e 2460MHz) que possibilita selecionar uma faixa de frequência e, assim, evitar interferência na captação dos sinais. As dimensões da *base-station* e da antena receptora são 20cm X 11cm e 10.5cm X 11cm, respectivamente.



Figura 3 – *Base Station*: Antena receptora e interface USB do sistema digital CDR Wireless®.

Por meio do *software* CDR for DICOM Windows 3.0.1, a imagem radiográfica é disponibilizada no monitor do computador. Todos os procedimentos de obtenção da imagem radiográfica ocorrem poucos segundos após a exposição do sensor aos raios X. Na presente pesquisa, após o mencionado processo de obtenção, as imagens foram exportadas e armazenadas em formato TIFF (tagged image file format).

Sistema Digora Optime®

Utilizou-se o sistema digital Digora Optime® (Soredex, Helsink, Finlândia) com sua respectiva placa de fósforo azul.

Para a exposição, foi usada uma placa de fósforo número 2 com dimensão de 31 X 41mm. As imagens radiográficas desse sistema, operando na resolução super (*super resolution*), apresentam tamanho do *pixel* de 40 X 40µm e matriz ativa de 721 X 1025 *pixels* com 14 bits para quantificação de níveis de cinza, além de proporcionar resolução espacial de 12.5lp/mm (pares de linha por milímetro) (Digora Optime Instruction Manual, 2004). A Figura 4 ilustra as placas desse sistema digital.

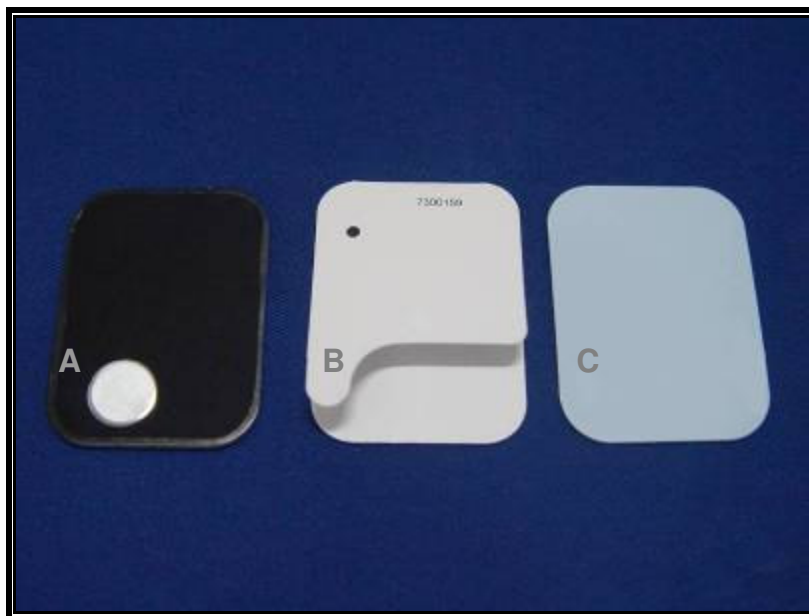


Figura 4 – Placa de fósforo do sistema digital Digora Optime®: A - Face posterior da placa de fósforo; B - proteção de papelão; C - Face ativa da placa de fósforo.

O Digora Optime® *Scanner* apresenta 39,5cm de comprimento, 22,1cm de largura e 19,1cm de altura. Na região anterior do *scanner* existe uma janela na qual são introduzidas as placas de fósforo para leitura (Figura 5). A leitura da

placa de fósforo é efetuada em menos de 6,4 segundos após a introdução da placa no *scanner*, resultando no aparecimento, praticamente instantâneo, da imagem radiográfica no monitor do computador. Neste estudo, as imagens obtidas a partir desse sistema foram exportadas e armazenadas em formato TIFF.



Figura 5 – *Scanner* do sistema Digora Optime®.

Sistema DenOptix®

O sistema Digital DenOptix® (Gendex Dental Systems, Milão, Itália) com sua respectiva placa de fósforo também foi utilizado neste estudo. A placa de fósforo desse sistema utilizada foi a de número 2, que apresenta dimensão externa de 41,1 X 31,2 X 1mm e área ativa de 41 x 31mm (Figura 6).



Figura 6 – Placa de fósforo do sistema DenOptix®:
A - Face posterior da placa; B – Face ativa da placa.

O DenOptix® *Scanner* apresenta um tambor onde são acopladas as placas de fósforo para leitura (Figura 7). Esse scanner disponibiliza as resoluções de 150, 300 e 600 dpi (*dots per inch*). Para o escaneamento da placa, foi selecionada a resolução de 300 dpi visto que não existe diferença estatisticamente significativa entre a qualidade da imagem radiográfica obtida com as resoluções de 300 e 600 dpi (Almeida *et al.* 2000). Posteriormente a leitura no scanner, a placa de fósforo foi exposta a uma fonte de luz fluorescente, negatoscópio, com intensidade de 1700 lux por 130 segundos para eliminação completa da imagem residual (Paganini 2001). A imagem deste sistema, operando na resolução selecionada, apresenta tamanho do pixel de 85 x 85µm, matriz de 485 x 367 *pixels* com 8 *bits* para quantificação de níveis de cinza e resolução espacial de 6 lp/mm. O tempo de leitura de uma placa de fósforo, nesta resolução, é de 1 minuto e 22 segundos.



Figura 7 – Scanner e tambor onde são acopladas as placas para o escaneamento do sistema DenOptix®.

Filmes radiográficos

Na avaliação subjetiva, foram utilizados filmes radiográficos periapicais Insight® -EP 21 (Kodak Eastman Co., EUA) classificados, quanto à sensibilidade, no grupo E/F, como método de diagnóstico de referência para comparação dos sistemas digitais. Esses filmes apresentavam prazo de validade de, pelo menos, um ano e pertenciam ao mesmo lote e caixa (Figura 8).

Os filmes radiográficos foram processados na processadora automática XR 24 Nova (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) com soluções processadoras da Dürr XR (Dürr-Automat XR, Dürr Dental), as quais também estavam dentro do prazo de validade fornecido pelo fabricante.



Figura 8 – Filmes radiográficos Insight®.

Objetos radiografados

Esta pesquisa consistiu em duas partes distintas: uma avaliação subjetiva e uma avaliação objetiva. Para cada uma delas, diferentes materiais foram radiografados.

Avaliação Subjetiva

Objetos Radiografados

Phantoms constituídos de dentes humanos (caninos, pré-molares e molares) e dispostos de forma a simular a região posterior de uma hemi-arcada dentária.

Preparo dos *Phantoms*

Para uso exclusivo nesta pesquisa, foram selecionados 80 (oitenta) dentes, 40 (quarenta) pré-molares e 40 (quarenta) molares. O critério adotado para a seleção foi a existência de faces hígidas ou de pequenas desmineralizações. Empregaram-se 20 (vinte) dentes caninos para estabelecer o contato proximal com o primeiro pré-molar.

Foram organizados 20 (vinte) *phantoms*, onde os dentes foram dispostos na seqüência natural, simulando hemi-arcadas dentárias. Cada *phantom* apresentava 1 (um) canino, 2 (dois) pré-molares e 2 (dois) molares portadores ou não de lesões cariosas nas faces proximais.

Com o objetivo de manter os dentes na posição correta, foi utilizado silicone industrial, pois que a flexibilidade e a estabilidade deste material permitem, depois de completada sua reação química, a manipulação dos dentes sem a perda das relações pré-estabelecidas (Hintze & Wenzel, 2002).

A borracha de silicone industrial e o catalisador Dow Corning HS II da Casa do silicone (Brasil) foram empregados em conformidade com as especificações do fabricante (20ml da borracha para 1ml do catalisador) a fim de alcançar o objetivo já mencionado. Para conformar o silicone, foram usadas matrizes de polímero acrílico de 10mm de altura, 30mm de largura, 65mm de comprimento e 4,5mm de espessura. Para evitar a sobreposição das faces proximais nas imagens radiográficas, foi fixada uma lâmina de chumbo entre as faces proximais dos dentes até a polimerização total do material. Após a polimerização desse material, os conjuntos foram retirados das matrizes e o excesso de material foi removido para evitar interferência durante a avaliação das imagens (Figura 9).



Figura 9 – *Phantoms* utilizados na pesquisa.

Antes da exposição, cada *phantom* foi fixado no dispositivo padronizador e um fio metálico foi posicionado, na face anterior do silicone industrial, à frente da raiz do dente de interesse que deveria ser avaliado na imagem. Para cada *phantom*, foram obtidas quatro imagens, sendo uma para cada dente teste. Por conseguinte, foram realizadas duas imagens de pré-molares e duas de molares.

Para evitar a influência da luz ambiente e prevenir injúrias físicas da face ativa das placas dos sistemas de armazenamento de fósforo dos sistemas Digora Optime® e DenOptix®, as mesmas foram acondicionadas em invólucro protetor antes de sua exposição. Esse procedimento foi dispensável no caso do sensor CMOS, pois sua constituição externa confere proteção ao dispositivo CMOS interno. As imagens foram adquiridas sem alteração dos comandos padrões nos programas de cada sistema radiográfico digital.

Identificação das Radiografias e das Imagens digitais

Após a obtenção das imagens da avaliação subjetiva, as imagens radiográficas de cada sistema digital foram exportadas e passou-se a identificá-las por códigos específicos correspondentes ao sistema utilizado, para, assim, possibilitar a distribuição aleatória das mesmas durante a avaliação.

As imagens radiográficas obtidas com sistema Digora Optime® foram identificadas pela letra “D”, as do sistema DenOptix®, pela letra I, e as do sistema CDR Wireless®, pela letra K. Para identificar o *phantom* utilizado, adicionou-se, às mencionadas letras, um número e outra letra.

Amostragem

Para cada um dos métodos de imagem estudados, foram obtidas 80 imagens radiográficas, 40 imagens da região dos dentes pré-molares e 40 imagens da região dos dentes molares, totalizando 240 imagens radiográficas digitais e 80 radiografias convencionais.

Avaliação subjetiva das Imagens

As avaliações das radiografias convencionais e das imagens digitais foram executadas por seis examinadores, especialista em Radiologia Odontológica, com experiência clínica superior a cinco anos.

Uma sessão para calibração dos examinadores foi realizada com o objetivo de apresentar, aos examinadores, o programa *CaScO* (Erik Gotfredsen, School of Dentistry, University of Aarhus, Dinamarca), explicar-lhes o método de avaliação estabelecido, bem como verificar a assimilação do treinamento. O pesquisador responsável pelo treinamento forneceu instruções verbais e escritas aos examinadores e ficou disponível para responder questões e esclarecer dúvidas durante as sessões de interpretação radiográfica.

Foi estabelecido um intervalo de, no mínimo, 48 horas entre as avaliações das pranchas. As Figuras 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17 ilustram as pranchas com as imagens radiográficas dos 20 *phantoms* obtidas com os três sistemas digitais avaliados e com as radiografias convencionais.



Figura 10 – Prancha das imagens radiográficas do sistema CDR Wireless®.

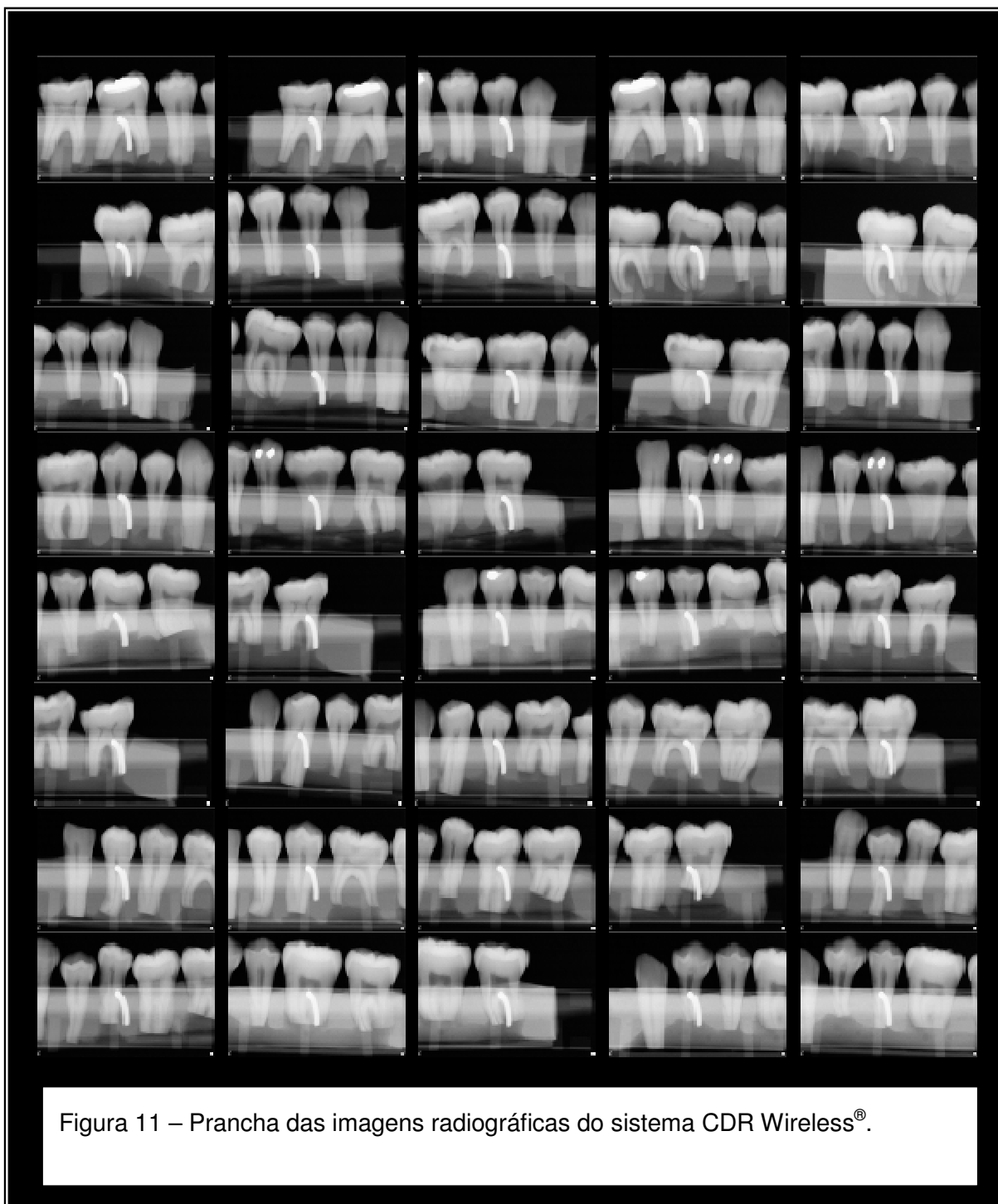




Figura 12 – Prancha das imagens radiográficas do sistema Digora Optime®.

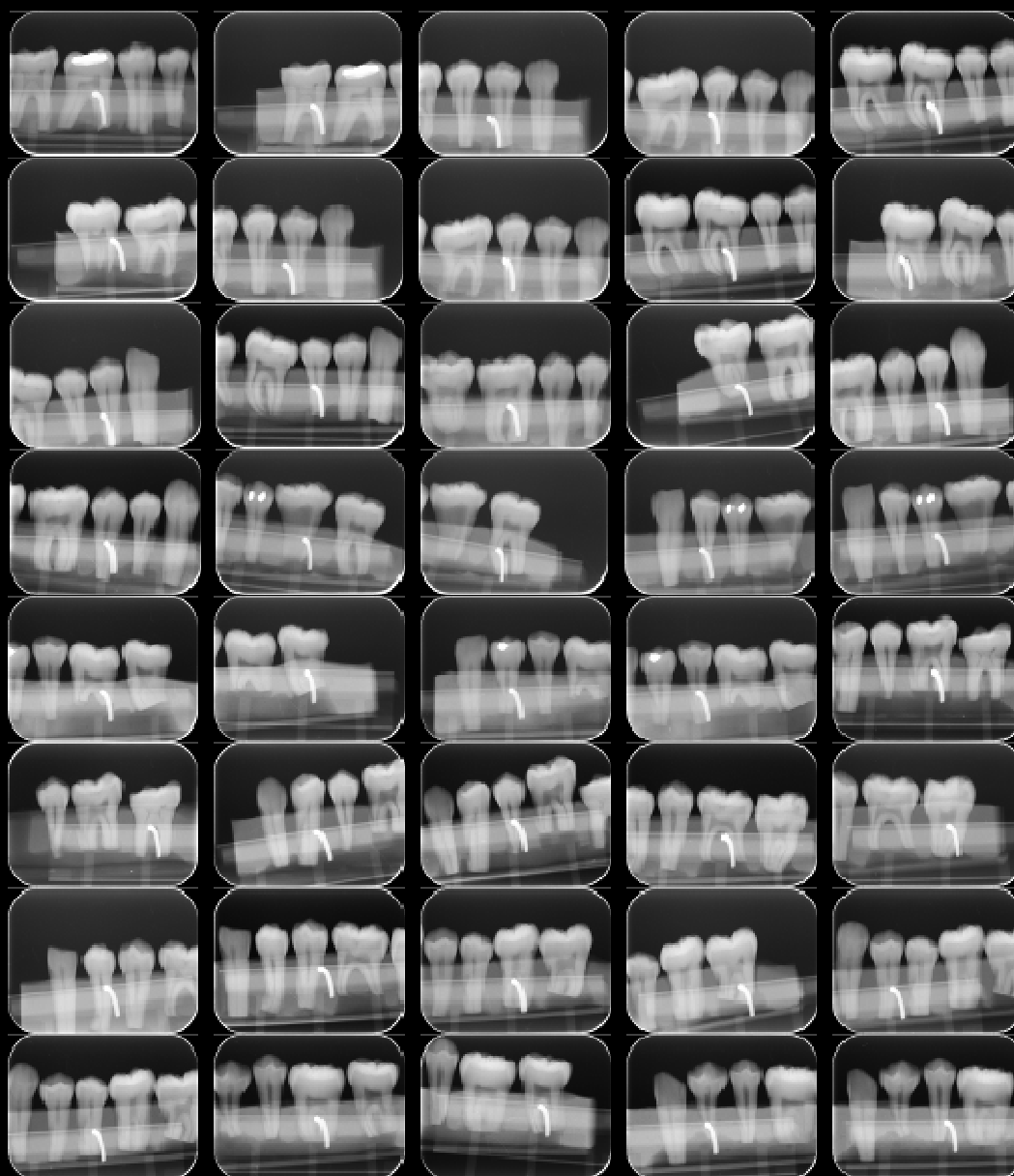


Figura 13 – Prancha das imagens radiográficas do sistema Digora Optime®



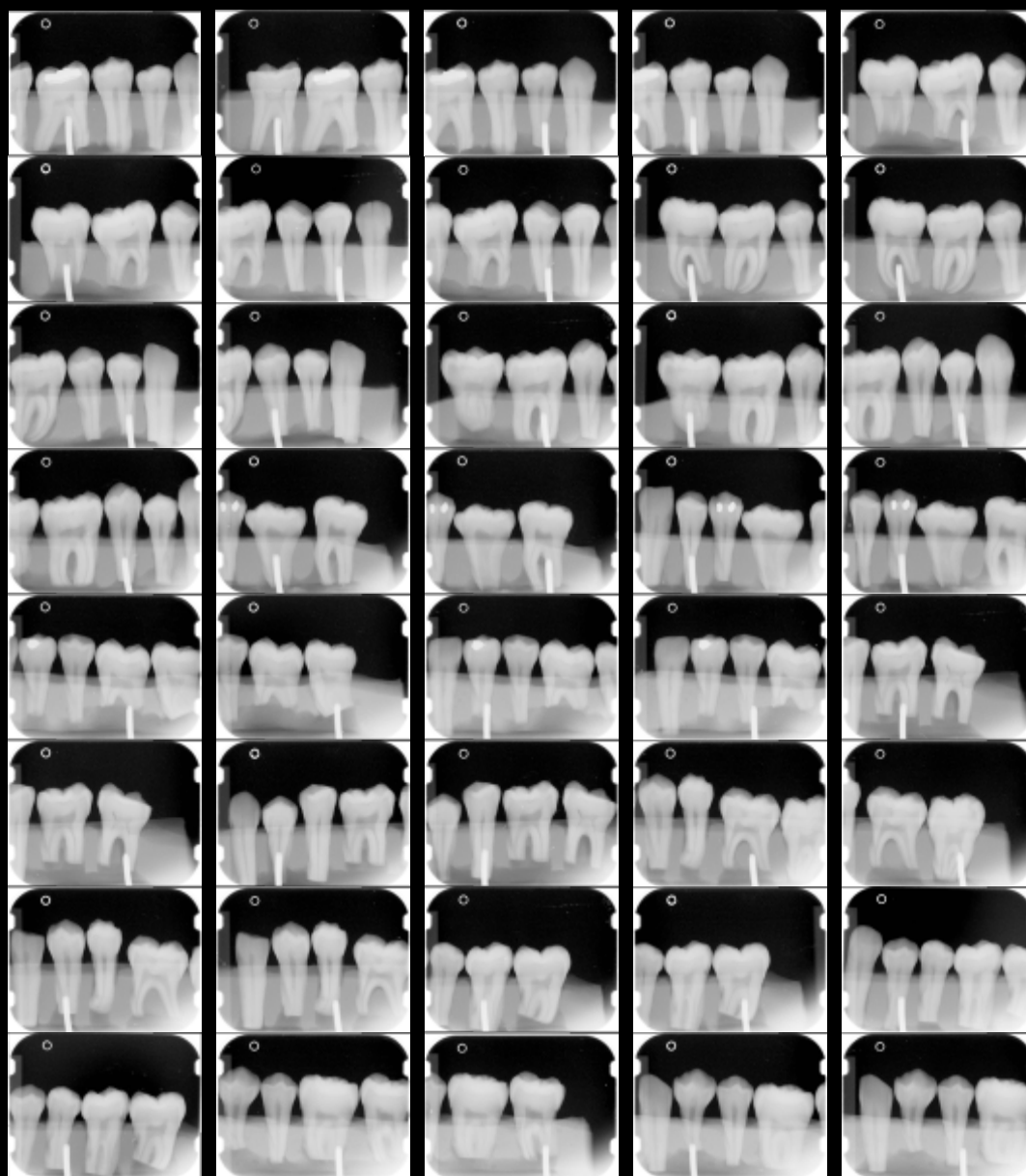


Figura 15 – Pranchas das imagens radiográficas do sistema DenOptix®.

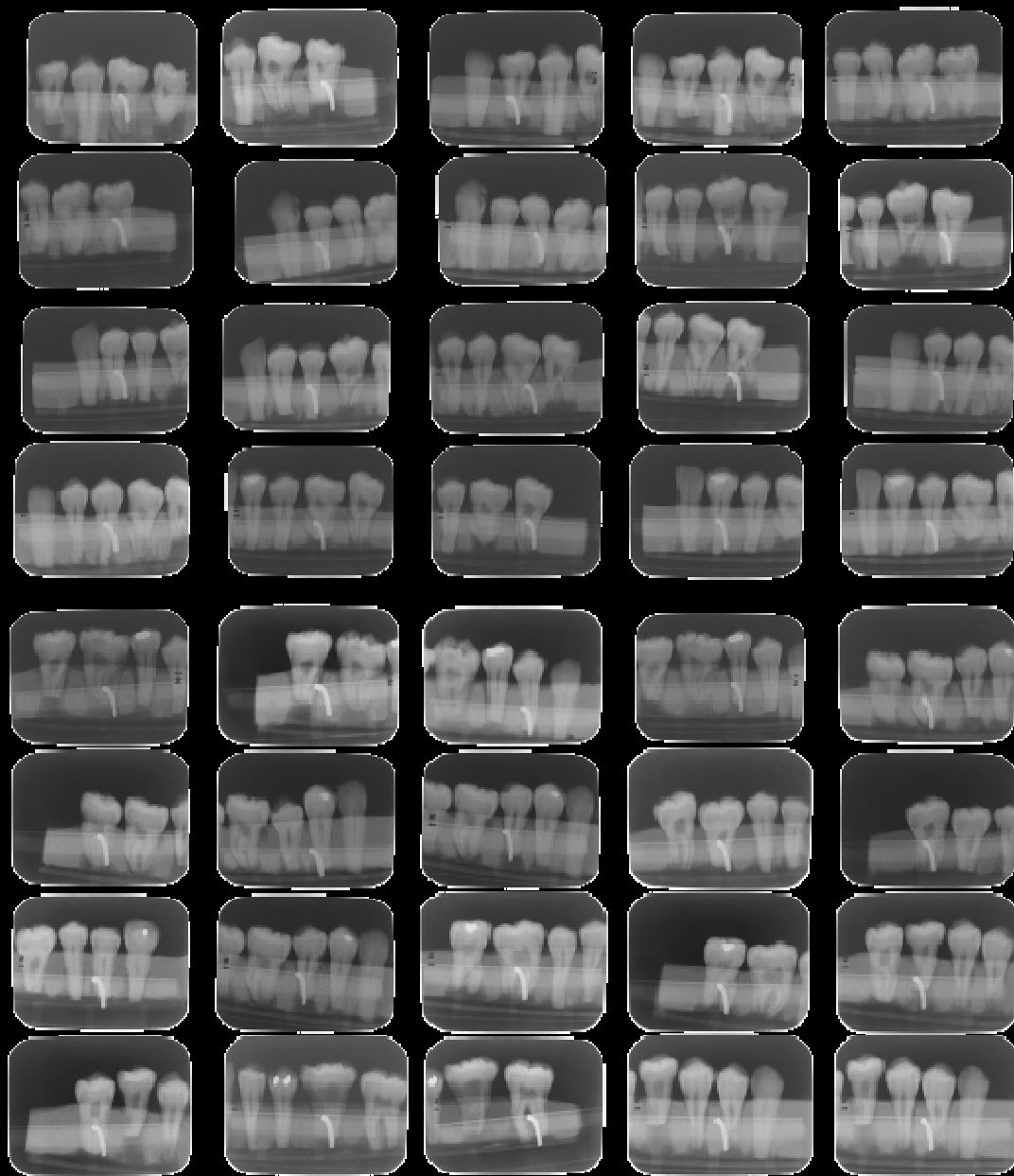


Figura 16 – Prancha das imagens radiográficas do filme radiográfico convencional Insight®.

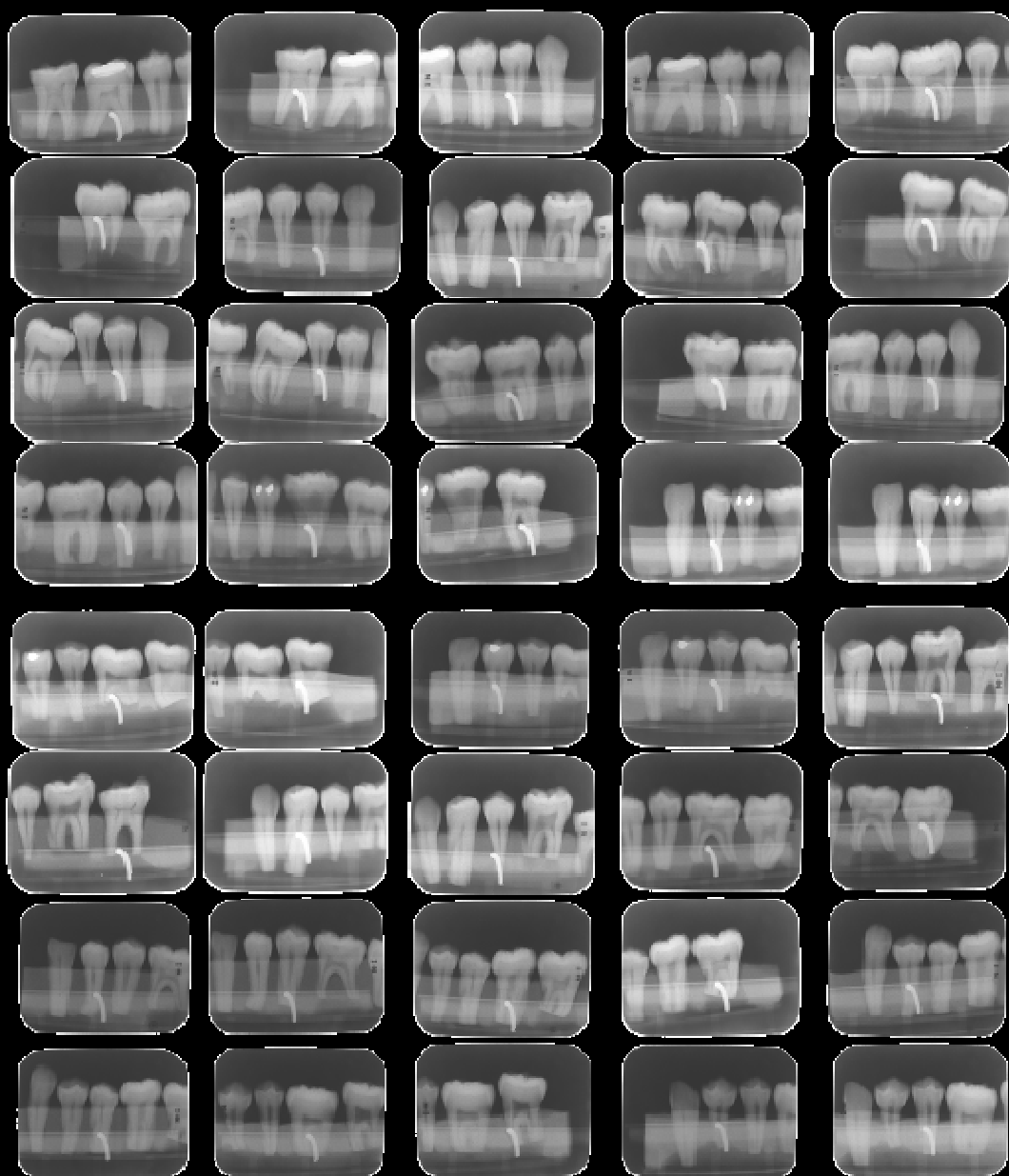


Figura 17 – Prancha das imagens radiográficas do filme radiográfico convencional Insight®.

As radiografias dos *phantoms* foram montadas em suporte apresentando aberturas para o posicionamento das radiografias. Em um ambiente escurecido, as radiografias foram avaliadas individualmente, de forma padronizada, ao negatoscópio (EMB, Brasil), sob intensidade de luz não variável, com o auxílio de um dispositivo de aumento 2X, o Viewscope® (Flow X-ray Corp., West Hempstead, NY, EUA) que dispensa a utilização de acessórios para barrar a passagem da luz às margens das radiografias (Arnold, 1987). As imagens digitais dos *phantoms* foram codificadas e avaliadas nas mesmas condições de ambiente da avaliação das radiografias convencionais. Ao avaliarem a influência do modo de exibição das imagens digitais no diagnóstico de cáries proximais em esmalte, Ludlow & Abreu Jr. (1999) concluíram que não há diferença estatisticamente significativa entre laptops, monitores de computadores em relação ao filme radiográfico. Dessa forma, na avaliação das imagens digitais, as imagens digitais foram analisadas individualmente, em ordem aleatória, tamanho de 1:1, em um monitor de 17 polegadas por meio do programa CaScO (Erik Gottfredsen, School of Dentistry, University of Aarhus, Denmark).

Os examinadores permaneciam a uma distância de 50 a 70cm do monitor e podiam utilizar as ferramentas de manipulação de brilho e contraste das imagens para alterar as características das imagem quando houvesse interesse, bem como a ferramenta *zoom* que possibilitava a magnificação da imagem. Deve-se salientar que vários estudos verificaram que a utilização da ferramenta de magnificação no diagnóstico das lesões de cárie é benéfica, dentro de um limite em que o sinal não seja degradado (Wenzel *et al.*, 1993; Svanaes *et al.*, 1996; Nair & Nair, 2001).

As imagens digitais e as radiografias foram avaliadas individualmente, resultando na apreciação de 640 faces proximais por cada examinador que atribuiu escores às imagens, isoladamente, dentro das opções indicadas no quadro a seguir:

1	Face definitivamente hígida
2	Face provavelmente hígida
3	Face questionável
4	Face provavelmente cariada
5	Face definitivamente cariada

Quadro 1 - Escores utilizados na avaliação subjetiva

Obtenção do Padrão Ouro (*Gold Standard*)

Após a obtenção das imagens, cada dente foi desidratado em álcool absoluto e, posteriormente, incluído em metacrilato a 5%. O metacrilato foi obtido pela dissolução do peróxido de benzoila a 0,5% no líquido de resina acrílica termopolimerizável (Vipcril, Brasil).

O processo de inclusão passou pelas seguintes etapas: imersão no líquido da resina termopolimerizável, imersão em metacrilato 0,25%, imersão em metacrilato 0,5% e inclusão em metacrilato a 5%. Cada uma das três primeiras fases apresentou duração de 48 horas. Uma bomba de vácuo (Marconi, Brasil) foi utilizada para facilitar a infiltração dos líquidos nos dentes. Para a inclusão individual em metacrilato a 5%, foram utilizados tubos de vidro para centrífuga (15ml) e rolhas de tamanho adequado para vedamento. Os tubos foram mantidos em uma estufa, com temperatura constante de 20°C, para possibilitar uma polimerização lenta e completa do material.

Após a polimerização, os dentes foram cortados longitudinalmente no sentido méso-distal. Estes cortes foram efetuados em aparelho cortador de tecidos duros (Low Speed Diamond Nheel saw, South Bay Technology Inc., California, USA), dotado de disco de diamante, modelo 650, sob contínua refrigeração. Seqüencialmente, os cortes foram desgastados com lixas d'água de granulação 320 e 1200 (3M do Brasil Ltda, Brasil) até apresentarem espessura que possibilitasse a montagem dos cortes em lâminas (70 a 100µm).

Os cortes foram lavados em água e montados em lâminas de vidro. O Bálsamo do Canadá foi utilizado como adesivo para as lamínulas (Møystad *et al.*, 1996; Ganzerli, 2001; Tosoni *et al.*, 2001; Hintze & Wenzel, 2002; Hintze *et al.*, 2002; Hintze *et al.*, 2002; Hintze & Wenzel, 2003; Devito, 2004). Após esta fase, dois avaliadores examinaram as lâminas em microscópio óptico (Zeiss, Alemanha), com aumento de 25x, e determinaram a presença e extensão da lesão cariosa utilizando os escores indicados no quadro a seguir:

0	Face Hígida
1	Cárie em esmalte
2	Cárie no $\leq \frac{1}{3}$ externo da dentina
3	Cárie no $> \frac{1}{3}$ interno da dentina

Quadro 2 - Escores utilizados na avaliação histológica

Quando os escores escolhidos pelos dois avaliadores para uma determinada face não eram semelhantes, foi realizada uma avaliação em conjunto por meio da qual se estabeleceu extensão da lesão (consenso forçado). Na Figura 18 é possível observar exemplos de superfície hígida, superfície apresentando

cárie em esmalte, superfície apresentando cárie até a junção amelo-dentinária e superfície com cárie em dentina.

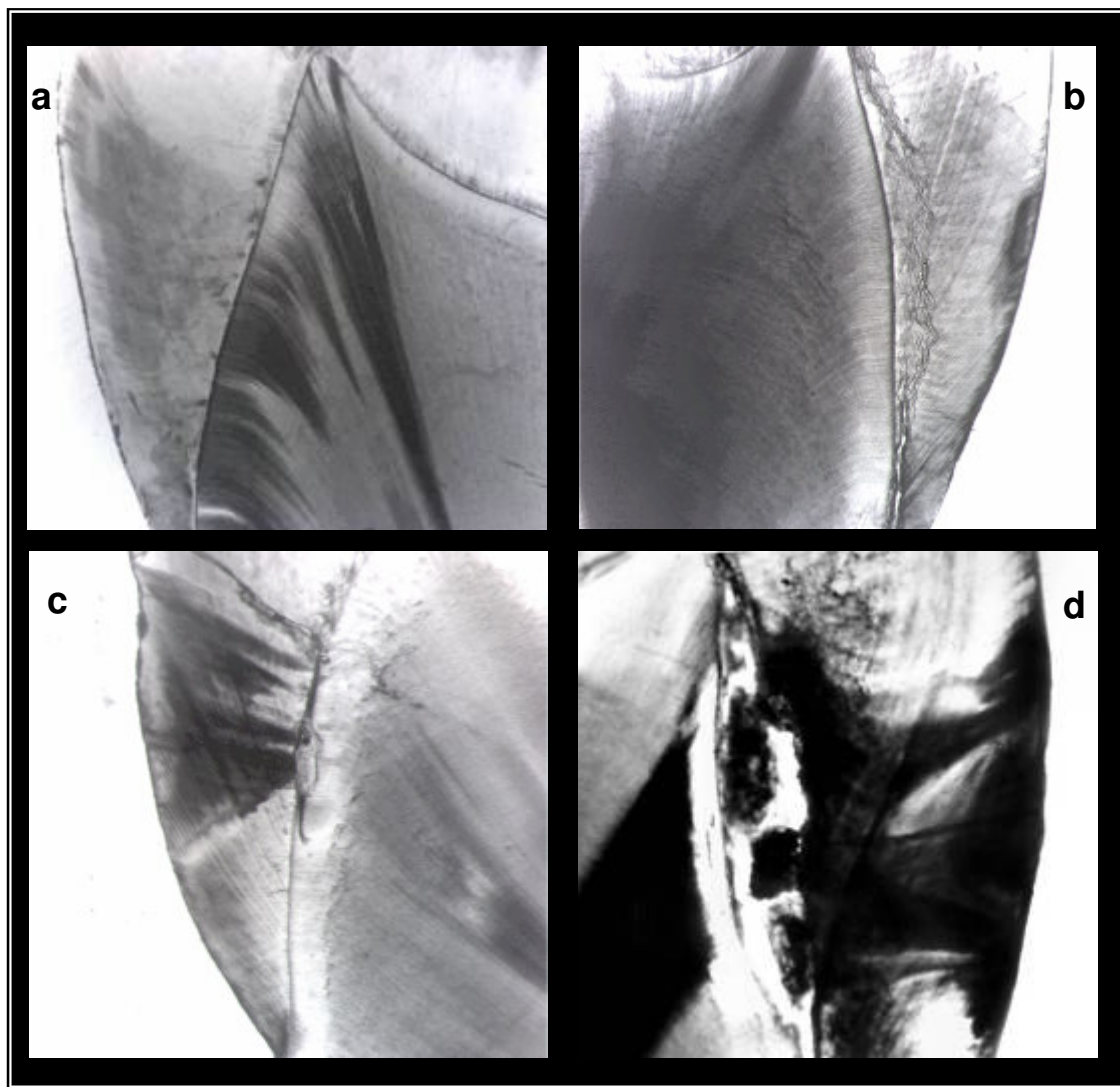


Figura 18 – Avaliação histológica de dentes seccionados (aumento 5x): a – superfície proximal hígida; b – superfície proximal com cárie em esmalte; c – superfície proximal com cárie em esmalte até a junção amelo-dentinária; d – superfície proximal com cárie em dentina.

Para cada examinador, utilizando cada um dos sistemas digitais, foram calculados os valores de sensibilidade (capacidade do método em diagnosticar

corretamente casos com doença) e especificidade (capacidade do método em diagnosticar corretamente casos com ausência de doença), comparando-se os resultados da avaliação radiográfica com os resultados do exame histológico (padrão ouro). Também foram calculados os valores preditivos positivo (probabilidade da doença de estar presente quando o diagnóstico é positivo) e negativo (probabilidade da doença de estar ausente quando o diagnóstico é negativo). No cálculo destes valores, considerou-se o seguinte limiar dos resultados da avaliação radiográfica: face hígida, quando foi atribuído escore de face definitivamente ou provavelmente hígida e face questionável; e face cariada, quando atribuído escore de face provavelmente cariada ou definitivamente cariada. Os valores médios de sensibilidade, especificidade, valores preditivos positivo e negativo de cada modalidade de imagem foram obtidos a partir dos resultados dos seis examinadores.

Para verificar se pelo menos uma das médias dos valores de sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e valor preditivo negativo das modalidades de imagem diferia de uma das demais, foi utilizada a análise de variância ao nível de significância de 0,05. Para comparação dos sistemas dois a dois, foi utilizado o *post hoc* teste-t ao nível de significância de 5%.

As respostas obtidas pela avaliação histológica foram comparadas com as interpretações radiográficas dos avaliadores utilizando-se a curva ROC (Receive Operating Characteristic). Para cada modalidade de imagem, a média das áreas sob as curvas ROC foi obtida a partir das áreas calculadas para os seis radiologistas. A comparação dessas áreas sob a curva ROC médias, acurácias, foi realizada por meio da análise de variância, ao nível de significância de 0,05. Para comparação dos sistemas dois a dois, também foi utilizado o teste de Tukey com nível de significância de 0,05.

Avaliação Objetiva

Uma escala de densidade de Alumínio de oito degraus, com espessuras variando entre 2 e 16mm, com incrementos de 2mm, foi radiografada para a avaliação objetiva dos sistemas digitais estudados (Figura 19). Foram obtidas 10 (dez) imagens radiográficas para cada modalidade de imagem digital.

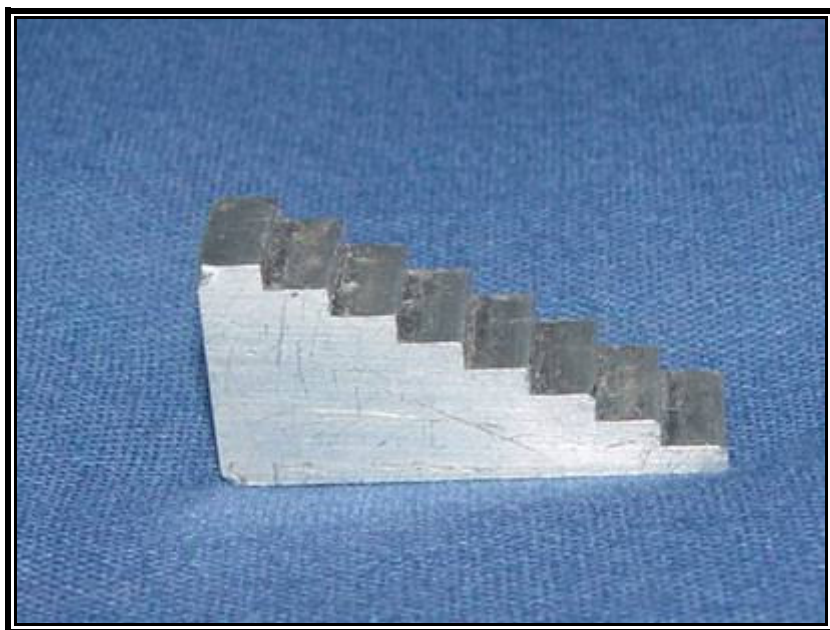


Figura 19 – Objeto radiografado para a avaliação objetiva.

Avaliação Objetiva das Imagens

A obtenção dos valores médios do *pixel* dos sistemas digitais foi realizada na região central referente à imagem dos degraus da escala de Alumínio. Para cada uma das dez imagens de um determinado sistema digital, foram realizadas três mensurações do valor médio do *pixel* da imagem radiográfica da escala de densidade. Inicialmente, uma área retangular correspondente à região central dos degraus da escala foi selecionada por meio da ferramenta imagem e tarefa retângulo, disponíveis no *software*

EMAGO®/Advanced 5.0 (Oral Diagnostic Systems, Louwesweg, Amsterdam, Holanda). Posteriormente, os valores médios do *pixel* foram alcançados com auxílio da tarefa Histograma da mesma ferramenta desse *software*, que determina o valor médio do *pixel* de uma área selecionada na imagem digital.

A partir desses três valores médios do *pixel* de cada imagem (repetições), foi obtido um valor médio do *pixel* para cada imagem radiográfica da escala de densidade. Em seguida, foi determinado o valor médio do *pixel* dos sistemas digitais estudados. Para verificar se ao menos o valor médio do *pixel* de um sistema digital diferia dos demais, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis ao nível de significância de 0,05. Os grupos foram comparados dois a dois, utilizando-se o teste de comparações múltiplas de Dunn ($p \leq 0,01$).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliação Subjetiva

Atualmente, o diagnóstico da lesão de cárie pode ser considerado um desafio, pois as características clínicas e a dinâmica da progressão dessa doença têm-se alterado nos últimos anos, resultando em diminuição da velocidade de progressão e grande espectro de manifestação clínica. Essa lesão se desenvolve lentamente através e abaixo da camada de esmalte, mantendo esta camada intacta sem alterar os contornos do dente (Pitts, 1991; Wenzel *et al.* 1993). Sendo assim, em estágios iniciais, a cárie apresenta-se como discreta mancha branca, marrom, ou ainda, pode não apresentar sinais clínicos detectáveis por métodos de diagnóstico disponíveis. Após o progressivo comprometimento da camada de esmalte e envolvimento da dentina subjacente, observa-se microcavidades na região de esmalte opaco.

Para a detecção e a preservação das lesões de cárie proximais, a imagem radiográfica é um método de diagnóstico amplamente utilizado na rotina clínica (Pitts, 1983; Pitts, 1991; Shwartz *et al.*, 1984; Benn & Watson, 1989; Wenzel *et al.*, 1993; Scaf *et al.*, 1998; Wenzel & Hintze, 1999; Wenzel *et al.* 2000; Nunes, 2003; Sanden *et al.*, 2003). Entretanto, deve-se ter consciência das limitações deste método e, associando todas as informações obtidas a partir do exame clínico, interpretar os achados radiográficos de maneira realista.

Novos métodos de diagnóstico devem ser testados previamente à sua introdução na prática clínica. Recomenda-se a realização de estudos *in vitro* com o objetivo de determinar se esse novo método, como os novos sistemas de imagem, modifica de maneira significativa o diagnóstico de determinada doença em relação a métodos convencionais e tradicionais já estabelecidos. Desta forma, no presente estudo, utilizou-se o filme radiográfico convencional como referência

para a avaliação subjetiva dos sistemas digitais, na comparação do diagnóstico de cáries proximais incipientes. Os *phantoms* da avaliação subjetiva dessa pesquisa, compostos por 80 (oitenta) dentes posteriores que apresentaram ao exame visual faces proximais híginas ou com pequenas desmineralizações (manchas brancas e marrons), foram radiografados utilizando três sistemas digitais e o filme radiográfico convencional.

Visto que a sensibilidade do exame radiográfico na detecção de cáries proximais incipientes é baixa, tanto para a radiografia convencional como para as imagens digitais adquiridas com diferentes sistemas digitais (Hintze *et al.*, 1994; White & Yoon, 1997), uma das vantagens da imagem digital em relação ao filme convencional é a possibilidade do examinador alterar as características da imagem, para uma determinada finalidade, por meio de ferramentas de manipulação da imagem disponíveis em programas específicos de computador (Wenzel, 1993; Verdonschot *et al.*, 1992; Møystad *et al.* 1996; Shout *et al.*, 1996; Li *et al.*, 2002; Møystad *et al.*, 2003).

No diagnóstico de cáries proximais, após a aquisição de uma imagem radiográfica digital, podem ser utilizados métodos de processamento da imagem digital para enfatizar as diferenças entre as estruturas dentárias ou os limites entre o tecido sadio e a lesão. Møystad *et al.* (1996), Svanaes *et al.* (2000) e Li *et al.* (2002) observaram que as imagens digitais manipuladas demonstraram precisão significativamente maior para o diagnóstico de lesões de cárie proximais quando comparadas às imagens digitais sem manipulação ou às radiografias convencionais. Além disso, Svanaes *et al.*, em 1996, constataram que a precisão do diagnóstico de cáries proximais geralmente é maior quando é utilizada a ferramenta de magnificação da imagem radiográfica digital durante a interpretação.

Levando-se em consideração as observações dos estudos mencionados anteriormente e, ainda, que a determinação do contraste e brilho

ideais para o diagnóstico de cárie é uma preferência individual, na avaliação das imagens digitais do presente estudo, as características das imagens digitais puderam ser alteradas pelos avaliadores de acordo com o interesse dos mesmos. Além da manipulação do brilho e do contraste, o programa CaScO, utilizado na avaliação das imagens, disponibilizava ferramentas de magnificação da imagem e alteração da função curva gamma.

Posteriormente, esses dentes foram seccionados e suas faces foram avaliadas microscopicamente para obtenção do padrão ouro. Das 160 faces avaliadas microscopicamente, 103 (64,5%) apresentavam-se híginas e 48 (30%) apresentavam lesões de cárie em esmalte e, 9 (5,5%) cáries $\leq \frac{1}{3}$ externo da dentina.

Para a determinação da eficácia de um determinado método de diagnóstico, deve-se utilizar um método de validação confiável para expressar o verdadeiro estado da doença. No diagnóstico de cárie, o método de validação ideal (padrão ouro) deve preencher três critérios: o diagnóstico deve ser preciso (reproduzível), o método deve refletir o estado anatômico e patológico da lesão e, ainda, deve ser estabelecido independentemente do método de diagnóstico em avaliação (Wenzel *et al.*, 1994; Wenzel & Hintze, 1999). Como método de validação para as modalidades de imagem, utilizou-se a avaliação microscópica das faces proximais dos dentes seccionados, considerada padrão ouro ideal na determinação da acurácia em estudos *in vitro* de diagnóstico de cárie (Wenzel & Hintze, 1999; Hintze & Wenzel, 2002). Nesses estudos, por existir uma grande diferença entre os examinadores utilizando métodos de diagnóstico disponíveis para a detecção de cáries, deve ser incluído grande número de avaliadores e grande quantidade de faces para aumentar a representatividade (Wenzel *et al.*, 1994; Hintze *et al.*, 2003, Hintze & Wenzel, 2003). Em nosso trabalho, uma grande quantidade de faces proximais, 160 faces (cento e sessenta), foi avaliada por seis radiologistas, o que garante consistência à estatística e aos resultados obtidos. No presente estudo, a concordância entre os avaliadores foi de 0,89, indicando que

os examinadores estavam adequadamente calibrados para a realização da avaliação.

Para comparação das modalidades de imagem radiográfica em relação à sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e valor preditivo negativo, os valores médios das mesmas foram submetidos à análise de variância (*two-way ANOVA*) e ao *post hoc* teste t. Os valores médios de sensibilidade, especificidade, valores preditivos positivo e negativo de cada modalidade de imagem, obtidos a partir dos resultados dos seis examinadores, estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1

Valores médios de sensibilidade, especificidade, valor preditivo positivo e valor preditivo negativo para cada uma das modalidades de imagem.

	Sensibilidade	Especificidade	Valor preditivo positivo	Valor preditivo negativo
Digora Optime®	0,23a	0,85a	0,50a	0,65a
DenOptix®	0,20ab	0,91ab	0,55ab	0,66ab
CDR Wireless®	0,23a	0,90ab	0,62b	0,67b
Filme Insight®	0,18b	0,92b	0,62b	0,66ab

Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 5%.

Não existiu diferença estatisticamente significativa entre os valores de sensibilidade dos sistemas digitais ($p>0,05$). A ocorrência de diferença estatisticamente significativa apareceu, tão somente, ao serem comparados os sistemas digitais CDR Wireless® e Digora Optime® com o filme radiográfico convencional Insight® ($p=0,032$).

Os valores de sensibilidade variaram de 0,18 para o filme Insight[®], a 0,23 para os sistemas digitais CDR Wireless[®] e Digora Optime[®]. Esses baixos valores de sensibilidade do exame radiográfico no diagnóstico de cárie indicam que grande parte das lesões de cárie da amostra não foi detectada por meio das modalidades de imagem. De acordo com esses resultados, pode-se afirmar que todas as modalidades de imagem radiográfica falharam na detecção das cáries incipientes. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Hintze *et al.* (1994), Hintze & Wenzel (1996) e White & Yoon (1997). Nas diferentes modalidades de imagem radiográfica, estes autores observaram baixos valores de sensibilidade na detecção da cárie incipiente, variando de 0,18, na modalidade de imagem digital, a 0,28 no filme radiográfico convencional.

Para Devito (2004) um dos fatores relacionados com o diagnóstico radiográfico da cárie dentária é da diferença entre a densidade dos tecidos mineralizados hígidos dos dentes e a lesão, sendo a imagem radiográfica desta patologia resultante das diferentes interações entre os fótons de raios X e o teor mineral presente nas estruturas dentárias. Uma possível explicação para os baixos valores de sensibilidade encontrados na nossa pesquisa está relacionada com a característica da amostra, constituída de lesões cariosas incipientes, correspondendo a pequenas desmineralizações nas faces proximais, que, de acordo com Razmus (1994) e Cederberg *et al.* (1998), são detectadas radiograficamente após uma perda de aproximadamente 40% do teor mineral dos tecidos dentários.

Um fator que deve ser levado em consideração na utilização do exame radiográfico como método auxiliar do exame clínico é o fato de que essa associação aumenta a detecção das lesões de cárie nas faces proximais (van Rijkom & Verdonshot, 1995). Além disso, lesões de cárie proximais, em geral, progridem lentamente (Benn, 1994; Pine & ten Bosch, 1996). Sendo assim, o exame radiográfico, recurso disponível e de fácil execução, pode ser utilizado como auxiliar no diagnóstico destas lesões, uma vez que cáries incipientes,

mesmo que não diagnosticadas por meio destes métodos, poderão paralisar ou ter sua velocidade de progressão reduzida diante da filosofia preventiva vigente.

Em relação à especificidade, não existiu diferença estatisticamente significativa entre os valores de especificidade dos sistemas digitais ($p>0,05$). Entretanto, na comparação do filme radiográfico, método utilizado como referência, com os sistemas digitais, verificou-se que a especificidade do filme radiográfico Insight® foi significativamente superior à do sistema Digora Optime® ($p=0,013$). Esse resultado está de acordo com os achados de Wenzel *et al.* (2007), os quais constataram valor de especificidade significativamente menor do sistema Digora Optime® quando comparado aos valores das demais modalidades de imagem radiográfica.

Todas as modalidades de imagem apresentaram altos valores de especificidade, variando entre 0,85 e 0,92, o que sugere a tendência dos examinadores para o diagnóstico correto de faces proximais hígidas. Os valores encontrados nesta pesquisa estão muito próximos aos verificados por estudos *in vitro* de diagnóstico radiográfico de cáries proximais. Nesse sentido, alguns exemplos são os resultados de White & Yoon (1997), que observaram especificidade de 0,88 para o filme radiográfico e de 0,91 para o sistema digital; os de Haak *et al* (2001), que encontraram valores entre 0,94 (filme radiográfico) e 0,97 (sistema Digora Fmx®); os de Tosoni *et al.* (2001), os quais observaram, para todas as modalidades de imagem radiográfica, tanto digital como convencional, o valor de 1,00; os de Pontual (2005), que também constataram altos valores de especificidade para todas as modalidades de imagem estudadas, variando entre 0,96 (filme radiográfico) e 1,00 (Digora Fmx®); os de Nair & Nair (2001), que revelaram valores de especificidade variaram entre 0,83 (sistema Schick CDR-APS) e 0,86 (filme Insight®).

Altos valores de especificidade indicam que a utilização do exame radiográfico como método auxiliar no diagnóstico de cáries proximais pode

diminuir a chance de resultados falso-positivos. A determinação correta das faces hígidas é importante na rotina clínica, pois um resultado falso-positivo pode determinar a realização de tratamento invasivo, desnecessário e dispendioso, resultando em desgaste de tecido hígido e, conseqüentemente, o início do ciclo reparador.

Observa-se que as modalidades de imagem apresentaram valores médios de predição positiva (percentual de confiabilidade do método em diagnosticar a doença), entre 0,50 e 0,62. Tem-se que o sistema Digora Optime[®] apresentou valor preditivo positivo significativamente menor que os valores obtidos pelo sistema CDR Wireless[®] ($p=0,024$) e o filme radiográfico Insight[®] ($p=0,029$). As demais modalidades de imagem não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p>0,05$).

No entanto, os valores de predição negativa (percentual de confiabilidade do método em diagnosticar faces hígidas) foram mais elevados que os positivos, demonstrando que o exame radiográfico é mais confiável na determinação de faces hígidas, conforme evidenciado previamente pelos altos valores de especificidade. Quando os valores preditivos negativos das modalidades de imagem foram comparados dois a dois, observou-se que o sistema digital CDR Wireless[®] apresentou valor preditivo negativo significativamente superior ao do sistema Digora Optime[®] ($p= 0,021$). A diferença entre as demais modalidades de imagem não foi estatisticamente significativa ($p>0,05$).

A Figura 20 ilustra as áreas das curvas ROC obtidas por meio da comparação das respostas da avaliação histológica com as interpretações dos avaliadores e o resultado do teste de Tukey.

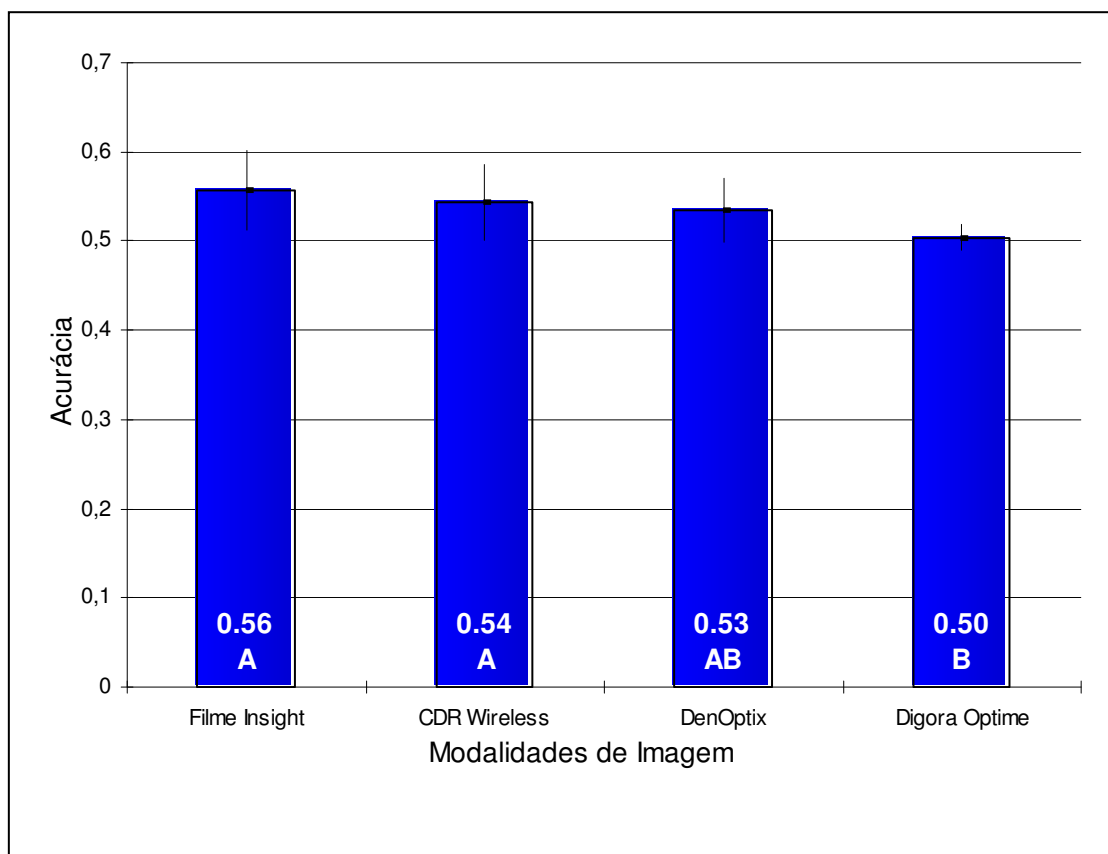


Figura 20 – Médias das áreas sob a curva ROC e intervalos de confiança das modalidades de imagem estudadas. Médias seguidas de letras distintas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

A Figura 20 ilustra os valores de acurácia encontrados para cada uma das modalidades de imagem estudadas, variando entre 0,50 e 0,56. Provavelmente, esses valores médios são fruto da dificuldade de detecção das lesões de cárie da amostra, predominantemente composta por pequenas desmineralizações no esmalte. Valores médios de acurácia estão próximos aos valores obtidos por estudos *in vitro* de diagnóstico de cáries. Por exemplo, utilizando as áreas sob a curva ROC para determinar a acurácia de métodos radiográficos na detecção de cáries proximais, Hintze *et al.* (1994) encontraram áreas de 0,53 para o sistema digital; Wenzel *et al.* (1995), ao comparar sistemas digitais na detecção de cáries proximais, encontrou área de 0,61 para o sistema Digora Fmx[®]. Entretanto, Hintze & Wenzel (1996) encontraram valores entre 0,61

e 0,88 para diferentes modalidades de imagem radiográfica. Já Møystad *et al.* (1996) observaram área de 0,68 para o filme radiográfico e de 0,78 para o sistema digital Digora Fmx[®]. Svanaes *et al.* (1996) verificaram áreas para o filme e para o sistema digital de, respectivamente, 0,72 e 0,71. Por fim, Hintze *et al.* (2002) constataram valores de áreas entre 0,65 e 0,69 para as diferentes modalidades de imagem.

Em relação à comparação dos valores médios de acurácia, o resultado da análise de variância, ao nível de significância de 5%, resultou na rejeição de igualdade, ou seja, ao menos uma das modalidades de imagem diferia dos demais. O resultado do teste de Tukey demonstrou que o sistema CDR Wireless[®] e o filme radiográfico Insight[®] foram significativamente superiores ao sistema digital Digora Optime[®] ($p < 0,03$). Bhaskaram *et al.*, em 2005, concluíram que, em termos de qualidade subjetiva de imagem, o filme convencional Insight[®] obteve melhor performance que a do sistema Digora Fmx[®]. Os resultados da comparação dos demais sistemas digitais estudados com o filme radiográfico Insight[®] indicaram que o sistema radiográfico CDR Wireless[®] e o sistema DenOptix[®] são equivalentes ao filme radiográfico na detecção de cáries proximais, o que está de acordo com os achados de Matsuda *et al.* (1995), Nielsen *et al.* (1996), Møystad *et al.* (1996), Svanaes *et al.* (1996), White & Yoon (1997), Syriopoulos *et al.* (2000), Ganzerli (2001) e Nair & Nair (2001), Hintze *et al.* (2002), Jacobsen *et al.* (2004) e Pontual (2005).

Avaliação Objetiva

A imagem radiográfica convencional é formada e armazenada nos grãos de prata metálica que se encontram aleatoriamente dispersos na emulsão do filme radiográfico. Quando uma radiografia é visualizada por meio de um negatoscópio, as imagens das diferentes concentrações e tamanhos destes grãos de prata são percebidas pelo olho humano como de diferentes tonalidades que variam do preto ao branco, apresentando diversos tons intermediários de cinza.

Por existir continuidade entre esses diversos tons, sem interrupções, essa imagem é considerada analógica.

Na radiografia digital, a imagem é dividida em pequenos pedaços de informações individuais, os *picture elements (pixels)*, que representam o ponto de resolução gráfica que corresponde à menor unidade de informação da imagem digital. Estes *pixels* são organizados em um arranjo fixo de linhas e colunas, denominado matriz, e são representados por números ou dígitos. O tamanho de cada *pixel* e o número de *pixels* da imagem caracteriza a matriz digital, com influência na resolução espacial da imagem (Miles, 1993; Van Der Stelt, 2000; Mauriello & Platin, 2001).

A densidade da imagem digital é determinada pelos valores que os *pixels* assumem. Existem sistemas radiográficos digitais que permitem a aquisição de imagens radiográficas de 8, 12 e até 16 bits para quantificação dos tons, correspondendo a imagens com respectivamente 256, 4096 e 65536 possibilidades de tonalidades (Wenzel *et al.* 2007). Por exemplo, na imagem radiográfica de sistemas digitais de 8 bits, existem 256 possibilidades de valor do *pixel*, variando do 0 (zero), que equivale ao preto absoluto, ao 255, que corresponde ao branco, apresentando 254 valores intermediários de tons de cinza (Miles, 1993; Van Der Stelt, 2000; Mauriello & Platin, 2001). Imagens digitais que apresentam baixos valores médios do *pixel*, correspondentes aos tons de cinza próximos ao preto (zero), podem ser consideradas como imagens de densidade elevada, enquanto, imagens que possuem elevados valores médios de *pixel*, próximos ao do branco (255), resultam em imagem de baixa densidade.

Para auxiliar o diagnóstico de lesões de cárie proximais incipientes, a imagem radiográfica deve apresentar densidade elevada, alto contraste e grau máximo de nitidez (Wenzel, 1995). Atualmente, existe uma grande variedade de sistemas digitais disponíveis para a aquisição de imagens radiográficas intrabuciais. Por isso, freqüentemente, obtêm-se imagens radiográficas digitais

com diferentes características, como, por exemplo, valores médios de *pixel* significativamente distintos, o que resulta em diferença no grau de escurecimento nas imagens. Este fato pode alterar a qualidade da imagem e, conseqüentemente, interferir no diagnóstico radiográfico de cáries.

Para avaliar objetivamente os sistemas CDR Wireless[®], Digora Optime[®] e DenOptix[®], foram obtidas dez imagens radiográficas de uma escala de densidade de alumínio para cada sistema digital. A partir dos valores do *pixel* de todas as repetições foram determinadas as médias dos valores do *pixel* para os três sistemas digitais. O teste de Levene mostrou que as variâncias do valor do *pixel* obtidas com os três sistemas não apresentaram evidência de homogeneidade ($p = 0,073$).

Sendo assim, optou-se pelo teste de Kruskal–Wallis, que quando aplicado às médias dos valores do *pixel* dos sistemas, indicou que ao menos um dos sistemas digitais apresentou diferença estatisticamente significativa em relação aos demais ($p < 0,001$). Para a comparação dos sistemas dois a dois utilizou-se o teste de comparações múltiplas de Dunn que resultou na rejeição da igualdade, ou seja, as médias de cada um dos três possíveis pares de sistema apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p \leq 0,01$). A Tabela 2 apresenta as médias dos valores médios do *pixel* e desvios-padrão dos três sistemas digitais avaliados.

Tabela 2
Médias e desvios-padrão dos valores médios do *pixel* para os sistemas digitais CDR Wireless[®], Digora Optime[®] e DenOptix[®].

Sistema digital	Valor do <i>Pixel</i>	Desvio-padrão
Digora Optime [®]	194,46 a	0,66
DenOptix [®]	168,34 b	1,85
CDR Wireless [®]	109,44 c	1,88

Médias seguidas de letras distintas na vertical diferem entre si ao nível de 1%.

Os resultados deste trabalho demonstraram que o sistema CDR Wireless[®] apresentou o menor valor de *pixel*, seguido do sistema DenOptix[®] e o maior valor do *pixel*, menor grau de escurecimento, foi obtido pelo sistema Digora Optime[®]. Considerando esses resultados, pode-se sugerir que as imagens radiográficas adquiridas com o sistema CDR Wireless[®] apresentaram maior grau de escurecimento, sendo, de acordo com Wenzel (2000), preferível para o diagnóstico de cáries. Este fato pode ter influenciado na ocorrência de diferenças estatisticamente significativas entre a acurácia desse sistema e a do Digora Optime[®] na detecção de cáries incipientes.

No diagnóstico de cáries proximais, o sistema DenOptix[®], com valor médio do *pixel* intermediário, não demonstrou diferença estatisticamente significativa quando comparado às demais modalidades de imagem em relação à sensibilidade, especificidade, valor preditivo negativo, valor preditivo positivo e acurácia.

Entretanto, o sistema Digora Optime[®], com o maior valor médio do *pixel* e, conseqüentemente, menor grau de escurecimento dentre os três sistemas digitais estudados, ao ser comparado com o sistema CDR Wireless[®] no diagnóstico de cáries proximais incipientes apresentou acurácia, valores preditivos positivo e negativo significativamente inferiores.

Baseando-se nos resultados deste trabalho, o sistema digital CDR Wireless[®] pode ser uma alternativa para a substituição do filme radiográfico convencional na aquisição da imagem radiográfica, visto que este sistema apresentou performance no diagnóstico de cárie equivalente ao filme radiográfico convencional, possibilitando, ainda, a redução significativa do tempo de trabalho e, principalmente, da dose de radiação absorvida pelo paciente.

6. CONCLUSÃO

Como conclusões deste trabalho, destacam-se:

1. O sistema Digora Optime[®] apresentou o maior valor do pixel, seguido pelo DenOptix[®] e pelo CDR Wireless[®].

2. O sistema digital CDR Wireless[®] demonstrou desempenho superior ao Digora Optime[®] e semelhante ao do filme radiográfico Insight[®] e ao DenOptix[®] na detecção de cáries proximais incipientes. Por conseguinte, no tocante à qualidade da imagem, o novo CDR Wireless[®] pode ser uma alternativa viável para a utilização na clínica como método auxiliar de diagnóstico.

REFERÊNCIAS*

Almeida, S M, Oliveira, AEF, Paganini GA, Haiter Neto, F, Bóscolo, F N. Avaliação da qualidade das imagens digitais adquiridas com diferentes resoluções em um sistema de armazenamento de fósforo / Evaluation of the quality of digital imagens. *Pesqui. Odontol. Bras.* 2000; 14 (3): 262-7.

Arnold LV. The radiographic detection of initial carious lesions on the proximal surfaces of teeth. Part II. The influence of viewing conditions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1987; 64(2): 232-40.

Bhaskaran V, Qualtrough AJE, Rushton VE, Worthington HV, Horner K. A laboratory comparison of three image quality and radiation exposure characteristics. *Int Endod J.* 2005; 38:645-652.

Benn DK, Watson TF. Correlation between film position, bitewing shadows, clinical pitfalls, and the histologic size of approximal lesions. *Quintessence Int.* 1989; 20(2): 131-41.

Benn DK. Radiographic caries diagnosis and monitoring. *Dentomaxillofac Radiol.* 1994; 23(2): 69-72.

Cederberg RA, Frederiksen NL, Benson BW, Shulman JD. Effect of different background lighting conditions on diagnostic performance of digital and film images. *Dentomaxillofac Radiol.* 1998; 27(5): 293-7.

Devito KL. Filtração da radiação X: uso do Estanho na avaliação da qualidade da imagem radiográfica. [tese]. Piracicaba (SP): FOP/UNICAMP; 2004.

Dove SB, McDavid WD. A comparison of conventional intra-oral radiography and computer imaging techniques for the detection of proximal surface dental caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 1992; 21(3): 127-34.

Ganzerli ASR. Avaliação interexaminadores no diagnóstico de cáries proximais e oclusais, utilizando imagens convencionais e digitais. [Dissertação]. Piracicaba (SP): FOP/UNICAMP; 2001.

Haak R, Wicht MJ, Noack MJ. Conventional, digital and contrast-enhanced bitewing radiographs in the decision to restore approximal carious lesions. *Caries Res.* 2001; 35(3): 193-9.

Hintze H, Frydenberg M, Wenzel A. Influence of number of surfaces and observers on statistical power in a multiobserver ROC radiographic caries detection study. *Caries Res.* 2003; 37(3): 200-5.

Hintze H, Wenzel A, Frydenberg M. Accuracy of caries detection with four storage phosphor systems and E-speed radiographs. *Dentomaxillofac Radiol.* 2002; 31(3): 170-5.

Hintze H, Wenzel A, Jones C. In vitro comparison of D- and E- speed film radiography, RVG, and Visualix digital radiography for the detection of enamel approximal and dentinal occlusal caries lesions. *Caries Res.* 1994; 28(5): 363-7.

Hintze H, Wenzel A. Clinical and laboratory radiographic caries diagnosis. A study of the same teeth. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996; 25(3): 115-8.

Hintze H, Wenzel A. Diagnostic outcome of methods frequently used for caries validation. A comparison of clinical examination, radiography and histology following hemisectioning and serial tooth sectioning. *Caries Res.* 2003; 37(2): 115-24.

Hintze H, Wenzel A. Influence of the validation method on diagnostic accuracy for caries. A comparison of six digital and two conventional radiographic systems. *Dentomaxillofac Radiol.* 2002; 31(1): 44-9.

Jacobsen JH, Hansen B, Wenzel A, Hintze H. Relationship between histological and radiographic caries lesion depth measured in images from four digital radiography systems. *Caries Res.* 2004; 38(1): 34-8.

Kitagawa H, Scheetz JP, Farman AG. Comparison of complementary metal oxide semiconductor and charge coupled device intraoral X-ray detectors using subjective image quality. *Dentomaxillofac Radiol* 2003; 32: 408-411.

Li G, Yoshura K, Welander U, Shi XQ, McDavid WD. Detection of approximal caries in digital radiographs before and after correction for attenuation and visual response. An *in vitro* study. *Dentomaxillofac Radiol* 2002; 31: 113-116.

Ludlow JB, Abreu Jr M. Performance of film, desktop monitor and laptop displays in caries detection. *Dentomaxillofac Radiol.* 1999; 28(1): 26-30.

Matsuda Y, Okano T, Igeta A, Seki K. Effects of exposure reduction on the accuracy of an intraoral photostimulable-phosphor imaging system in detecting incipient proximal caries. *Oral Radiol.* 1995; 11(1): 11-6.

Mauriello SM, Platin E. Dental digital radiographic imaging. *J Den Hyg.* 2001; 75(4):323-31.

Miles DA. Imaging using solid-state detectors. *Dent Clin North Am.* 1993; 37(4): 531-40.

Moore WS. Dental Digital Radiography. *Tex Den J.* 2002; 119(5): 404-12.

Møystad A, Svanaes DB, Risnes S, Larheim TA, Gröndahl HG. Detection of approximal caries with a storage phosphor system. A comparison of enhanced digital images with dental X-ray film. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996; 25(4): 202-6.

Møystad A, Svanæs DB, van der Stelt PF, Gröndahl H-G, Wenzel A, van Ginkel FC, Kullendorff B, Hintze H, Larheim TA. Comparison of standard and task-specific

enhancement of Digora® storage phosphor images for approximal caries diagnosis. Dentomaxillofac Radiol 2003; 32: 390-396.

Nair MK, Nair UP. An *in vitro* evaluation of Kodak Insight and Ektaspeed Plus film with a CMOS detector for natural proximal caries: ROC analysis. Caries Res. 2001; 35(5): 354-9.

Nielsen LL, Hoernoe M, Wenzel A. Radiographic detection of cavitation in approximal surfaces of primary teeth using a digital storage phosphor system and conventional film, and the relationship between cavitation and radiographic lesion depth: an *in vitro* study. Int J Paediatr Dent. 1996; 6(3): 167-72.

Nunes CABCM. O uso da subtração digital no monitoramento da remineralização de lesões de cárie nas superfícies proximais dos dentes posteriores [dissertação]. Goiânia (GO): FO/UFG; 2003.

Paganini, GA. Estudo de sistemas radiográficos digitais submetidos à diferentes condições de trabalho em relação ao ruído. [tese]. Piracicaba (SP): FOP/UNICAMP; 2001.

Pai SS, Zimmerman JL. Digital Radiographic Imaging in Dental Practice. Dent Today. 2002; 21(6): 56-61.

Pine CM, ten Bosch JJ. Dynamics of and diagnostic methods for detecting small carious lesions. Caries Res. 1996; 30(6): 381-8.

Pitts NB. Diagnostic methods for caries: what is appropriate when? J Dent. 1991;19: 377-382.

Pitts NB. Monitoring of caries progression in permanent and primary posterior approximal enamel by bitewing radiography. A review. Community Dent Oral Epidemiol. 1983; 11(4): 228-35.

- Price C, Ergül N. A comparison of a film-based and a direct digital dental radiographic system using a proximal caries model. *Dentomaxillofac Radiol*. 1997; 26(1): 45-52.
- Pontual, AA. Comparação de sistemas digitais e filme radiográfico convencional no diagnóstico de cáries proximais em esmalte [dissertação]. Piracicaba: UNICAMP/FOP; 2005.
- Rasmus TF. Caries, periodontal disease, and periapical changes. *Dent Clin North Am*. 1994; 38(1): 13-31.
- Sanden E, Koob A, Hassfeld S, Staehle HJ, Eickholz P. Reliability of digital radiography of interproximal dental caries. *Am J Dent*. 2003; 16(3): 170-6.
- Scaf G, Macedo ES, Loffredo LCM. Efeito da magnificação ótica da imagem radiográfica na detecção de cáries proximais. *Rev Odontol UNESP*. 1998; 27(2): 437-48.
- Shrout MK, Russell CM, Potter BJ, Power BJ, Hidebolt CF. Digital enhancement of radiographs: can it improve caries diagnosis? *JADA* 1996; 127: 469-473.
- Shwartz M, Gröndahl HG, Pliskin JS, Boffa J. A longitudinal analysis from bitewing radiographs of the rate of progression of approximal carious lesions through human dental enamel. *Archs Oral Biol*. 1984; 29(7): 529-36.
- Svanaes DB, Møystad A, Larheim TA. Approximal caries depth assessment with storage phosphor versus film radiography. Evaluation of the caries-specific Oslo enhancement procedure. *Caries Res* 2000; 34: 448-453.
- Svanaes DB, Møystad A, Risnes S, Larheim TA, Gröndahl HG. Intraoral storage phosphor radiography for approximal caries detection and effect of image magnification. Comparison with conventional radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1996; 82(1): 94-100.

Syriopoulos K, Velders XL, Sanderink GCH, van der Stelt PF. Sensitometric and clinical evaluation of a new F-speed dental X-ray film. *Dentomaxillofac Radiol*. 2001; 30(1): 40-4.

Tosoni GM, Loffredo LCM, Tavano O, Scaf G, Capellozza ALA. Diagnostic quality of conventional and digital radiographic images of dental caries. *Rev Odontol UNESP*. 2001; 30(2): 277-90.

Tyndall DA, Ludlow JB, Platin E, Nair M. A comparison of Kodak Ektaspeed Plus film and the Siemens Sidexis digital imaging system for caries detection using receiver operating characteristic analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998; 85(1): 113-7.

Van der Stelt PF. Principles of digital imaging. *Dent Clin North Am*. 2000; 44(2): 237-48.

van Rijkom HM, Verdonschot EH. Factors involved in validity measurements of diagnostic tests for approximal caries – a meta-analysis. *Caries Res*. 1995; 29(5): 364-70.

Verdonschot EH, Kuijpers JMC, Polder BJ, Leng-Worm MH, Bronkhorst EM. Effect of digital gray-scale modification on the diagnosis of small approximal carious lesions. *J Dent*. 1992; 20: 44-49.

Versteeg KH, Sanderink GCH, Velders XL, van Ginkel FC, van der Stelt PF. *In vivo* study of approximal caries depth on storage phosphor plate images compared with dental X-ray film. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1997; 84(2): 210-3.

Wenzel A, Anthonisen PN, Juul MB. Reproducibility in the assessment of caries lesion behaviour: a comparison between conventional film and subtraction radiography. *Caries Res*. 2000; 34(3): 214-8.

Wenzel A, Borg E, Hintze H, Gröndahl HG. Accuracy of caries diagnosis in digital images from charge-coupled device and storage phosphor systems: an *in vitro* study. *Dentomaxillofac Radiol*. 1995; 24(4): 250-4.

Wenzel A, Hintze H. The choice of gold standard for evaluating tests for caries diagnosis. *Dentomaxillofac Radiol*. 1999; 28(3): 132-6.

Wenzel A, Haiter-Neto F, Gottfredsen E. Influence of spatial resolution and bit depth on detection of small caries lesions with digital receptors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. No prelo, 2007.

Wenzel A, Pitts N, Verdonschot EH, Kalsbeek H. Developments in radiographic caries diagnosis. *J Dent*. 1993; 21(3): 131-40.

Wenzel A. Computed-aided image manipulation of intraoral radiographs to enhance diagnosis in dental practice: a review. *Int Dent J*. 1993; 27: 3-11.

Wenzel A. Current trends in radiographic caries imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1995; 80(5): 527-39.

Wenzel A. Digital imaging for dental caries. *Dent Clin North Am*. 2000; 44(2): 319-38.

Wenzel A, Verdonschot EH, Truin JG, König KG. Impact of the validation method on the outcome of occlusal caries diagnosis. *Caries Res*. 1994; 28(5): 373-377.

White SC, Yoon DC. Comparative performance of digital and conventional images for detecting proximal surface caries. *Dentomaxillofac Radiol*. 1997; 26(1): 32-8.

 COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA	 CERTIFICADO
Certificamos que o Projeto de pesquisa intitulado "Estudo comparativo de três sistemas digitais sem cabo no diagnóstico de cáries proximais", sob o protocolo nº 073/2003, da Pesquisadora ANDRÉA DOS ANJOS PONTUAL, sob a responsabilidade do Prof. Dr. FRANCISCO HAITER NETO, está de acordo com a Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde/MS, de 10/10/96, tendo sido aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa – FOP.	
Piracicaba, 01 de agosto de 2003	
We certify that the research project with title "Comparative study of three digital systems wireless for approximal caries diagnosis", protocol nº 073/2003, by Researcher ANDRÉA DOS ANJOS PONTUAL, responsibility by Prof. Dr. FRANCISCO HAITER NETO, is in agreement with the Resolution 196/96 from National Committee of Health/Health Department (BR) and was approved by the Ethical Committee in Research at the Piracicaba Dentistry School/UNICAMP (State University of Campinas).	
Piracicaba, SP, Brazil, August 01 2003	
 Prof. Dr. Pedro Luiz Rosalen Secretário CEP/FOP/UNICAMP	 Prof. Dr. Antonio Bento Alves de Moraes Coordenador CEP/FOP/UNICAMP