

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

GRAZIELA DE MOURA

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM DISPOSITIVO PROTETOR PARA
PLACAS DE FÓSFORO INTRABUCAIS**

Porto Alegre

2019

GRAZIELA DE MOURA

**DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM DISPOSITIVO PROTETOR PARA
PLACAS DE FÓSFORO INTRABUCAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia, linha de pesquisa Diagnóstico das Afecções Buco-Faciais, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos pré-requisitos necessários para obter o título de Mestre em Clínica Odontológica.

Orientador: Prof. Dr. Heraldo Luis Dias da Silveira

Porto Alegre

2019

CIP - Catalogação na Publicação

DE MOURA, GRAZIELA
DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM DISPOSITIVO PROTETOR
PARA PLACAS DE FÓSFORO INTRABUCAIS / GRAZIELA DE
MOURA. -- 2019.

45 f.

Orientador: Heraldo Luis Dias da Silveira.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Odontologia, Programa
de Pós-Graduação em Odontologia, Porto Alegre, BR-RS,
2019.

1. Proteção Radiológica . 2. Raios X. 3.
Radiografia Digital. 4. Diagnóstico por Imagem. I.
Dias da Silveira, Heraldo Luis, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

“Se as coisas são inatingíveis, ora! Não é motivo para não querê-las.
Que tristes seriam os caminhos se não fora a presença distante das estrelas.”

Mário Quintana

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me iluminar e me abençoar nesta trajetória.

Ao meu noivo, Roberto Rondon Kassar Junior, pela compreensão, carinho, companheirismo e incentivo para a realização deste sonho, meu amor por ti é imenso.

À minha mãe, Neusa Terezinha de Moura, e meu irmão Rafael Paolo de Moura, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Ao professor Heraldo Luis Dias da Silveira, meu orientador, pela dedicação para com meu trabalho, sempre ativo e solidário, fazendo contribuições valiosas durante todo esse período.

Às professoras Nádia Assein Arús, Priscila Fernanda da Silveira Tiecher e Mariana Boessio Vizzotto pela harmoniosa convivência, proporcionando momentos de aprendizado constante, auxiliando em todas as atividades a mim propostas.

Aos Professores Vicente Castelo Branco Leitune e Fabrício Mezzomo Collares, pelo auxílio na realização da pesquisa.

Às minhas colegas da pós-graduação pela amizade construída e pelo apoio em todos os momentos durante o mestrado.

À minha querida amiga-irmã Karine Bibiana Fioravanti, a qual tenho grande admiração, pelo companheirismo e estímulo para enfrentar este desafio. Sua amizade é de grande importância para mim.

À direção e funcionários da Faculdade de Odontologia.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação da FO-UFRGS.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante o período de realização do mestrado.

A todos, o meu muito obrigado.

RESUMO

Introdução: A placa de fósforo fotoestimulável (*photostimulable phosphor plate* -PSP) é utilizada como receptor de imagem digital para exames radiográficos intrabucais, e possui a característica de ser reutilizável. A prevenção de danos físicos que gerem artefatos na imagem é uma preocupação atual, e alguns trabalhos sugerem técnicas para aumentar a vida útil do receptor. Os objetivos deste estudo foram: 1. Desenvolver um dispositivo de proteção para PSP em duas espessuras diferentes. 2. Testar a resistência à compressão dos dois dispositivos desenvolvidos e do dispositivo de papel do fabricante. 3. Avaliar a qualidade objetiva da imagem gerada com os dispositivos desenvolvidos e com o dispositivo de papel do fabricante em diferentes tempos de exposição, e com diferentes configurações de resolução espacial.

Metodologia: para o teste de resistência foram utilizadas oito PSPs novas, divididas em quatro grupos sob cargas de compressão variando de 10 a 400N. Após o teste, as placas foram radiografadas e avaliadas por três radiologistas calibrados e cegados, que por consenso identificaram os artefatos nas imagens. O teste da qualidade da imagem utilizou quatro PSPs novas, todas expostas nos mesmos quatro grupos e em cinco tempos de exposição e três resoluções espaciais, utilizando uma escala de alumínio de oito degraus, gerando 240 imagens.

Resultados: o dispositivo de proteção (DP) de 0.7mm apresentou maior resistência a compressão (300N), seguido pelo dispositivo de papel (175N) e por último o DP 0.3mm (150N). No entanto, na análise de qualidade de imagem, o DP 0.3mm causou menor alteração nos valores de cinza (22%), do que o DP 0.7mm (33%) e do que o papel (66%) ($p < 0.05$). A resolução espacial de 20pl/mm demonstrou diferença significativa nos valores médios de cinza e no desvio padrão, quando comparados com 25 e 40pl/mm, em todos os grupos.

Conclusão: os dispositivos de proteção de 0.3 e 0.7mm proporcionam maior resistência a compressão para PSP, causam baixa interferência na qualidade objetiva da imagem radiográfica, além de radioproteção ao paciente. Adicionalmente, por meio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, foi realizado o pedido de patente do dispositivo e processo de proteção para placas de fósforo fotossensíveis, junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), sob número BR 10 2019 018486-8, data de depósito 05/09/2019.

Palavras-Chave: Dispositivo, Raios X, Proteção Radiológica, Radiografia Digital, Diagnóstico por Imagem.

ABSTRACT

Introduction: The photostimulable storage phosphor plate (PSP) is used as a digital image receiver for intraoral radiographic examinations and has a reusable feature. Preventing physical damage that generates image artifacts is a current concern, and some work suggests techniques to extend receptor durability. The objectives of this study were: 1. To develop a protective device for PSP in two different thicknesses. 2. Test the compressive strength of the two developed devices and the manufacturer's paperboard protector. 3. Evaluate the objective image quality generated with developed devices and the manufacturer's paperboard protector at different exposure times and with different spatial resolution settings. **Methodology:** The compression test used eight new PSPs, divided into four groups, under load between 10 to 400N. After the test, the plates were radiographed and evaluated by three calibrated and blinded oral radiologists, that identified by consensus the images artifacts. The image quality test used four new PSPs, all exposures from four groups and five exposure times and three spatial resolutions, using an eight steps aluminum phantom, generating 240 images. **Results:** The 0.7 mm protection device (PD) presented higher compressive strength (300N), followed by the paper device (175N) and lastly the 0.3mm PD (150N). However, in image quality analysis, PD 0.3mm caused less change in grey values (22%), than PD 0.7mm (33%) and paperboard (66%) ($p < 0.05$). The spatial resolution of 20 lp/mm showed significant difference in mean grey values and standard deviation when compared with 25 and 40 lp/mm, in all the groups. **Conclusion:** 0.3 and 0.7mm protective devices increase compressive strength for PSP, cause less interference with the objective image quality, and provide radioprotection to the patient. Additionally, through Federal University of Rio Grande do Sul, the patent for the device and process of protection for photosensitive phosphor plates was filed with the INPI (National Institute of Industrial Property), under number BR 10 2019 018486, under number BR 10 2019 018486-8, filing date 05/09/2019.

Keywords: Protective Devices, X-Ray, Radiation Protection, Dental Digital Radiography, Digital Imaging, Oral Diagnosis.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PSP	<i>photostimulable storage phosphor</i>
PVC	polivinilcloreto
N	newton
p	nível de significância
mm	milímetro
cm	centímetro
s	segundo
pl/mm	par de linha por milímetro
DP	dispositivo de proteção
CCD	<i>charge coupled device</i>
CMOS	<i>complementary metal-oxide semiconductor</i>
kVp	kilovoltagem pico
mAs	miliampere-segundo
MVC	média do valor de cinza
FO-UFRGS	Faculdade de Odontologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
®	marca registrada
<	menor
>	maior
%	porcentagem
SEDETEC	Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico da UFRGS
JABRO	Jornada da Associação Brasileira de Radiologia Odontológica]
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

ROI *region of interest*

INPI Instituto Nacional da Propriedade Industrial

MPa Megapascal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	121
1.1	RADIOGRAFIA DIGITAL.....	121
1.2	DURABILIDADE DA PLACA DE FÓSFORO.....	132
1.3	MATERIAIS DE COMPOSIÇÃO DO DISPOSITIVO PROTETOR	134
1.4	RADIOPROTEÇÃO.....	134
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	ARTIGO CIENTÍFICO	17
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	35
	APÊNDICE A - Aprovação da Comissão de Pesquisa de Odontologia	39
	APÊNDICE B - Aprovação do Comitê de Ética em pesquisa da UFRGS	40
	APÊNDICE C - Autorização do Serviço de Radiologia	42
	APÊNDICE D - Autorização do Laboratório de Materiais Dentários	43
	APÊNDICE E - Termo de compromisso do pesquisador responsável	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 A Radiografia Digital

Os exames radiográficos são ferramentas valiosas na prática clínica odontológica tanto para o diagnóstico, quanto para o tratamento e preservação. Em 1987, Francis Moyon desenvolveu o primeiro sistema de radiografia digital intraoral, lançado comercialmente como RadioVisioGraphy® (RVG; Trophy Radiologie, Vincennes, France) com sensores reutilizáveis CCD (*Charge Coupled Device*)(CANDEIRO; BRINGEL; VALE, 2009; MOUYEN et al., 1989). Em 1983, SONODA et al. desenvolveram o primeiro sistema de radiografia digital médico com receptor de imagem composto por um material fotoestimulável, que também poderia ser reutilizável, mas que somente foi introduzido no mercado como receptor intrabucal na década de 90, com o nome comercial Digora® (Orion Corporation Soredex, Helsinki, Finland). Como características principais dos sistemas digitais de radiografias estão a ausência de revelação química, a reutilização do receptor de imagem, a formação de imagem digital e a presença de ferramentas digitais de melhoramento de imagem (WENZEL, A.; MØYSTAD, A., 2010).

Atualmente, os sistemas digitais de radiografia intrabucal são classificados em diretos e indiretos, de acordo com o receptor de imagem utilizado. No Direto, a transmissão da imagem é conduzida diretamente do receptor para o computador por meio de cabo ou comunicação *wireless*, e pode ser composto por um sensor CCD ou CMOS (*Complementary Metal-Oxide Semiconductor*). Este sistema tem como vantagem a formação de imagens com menor dose de radiação, no entanto, apresenta a desvantagem de ter maior volume físico, com estrutura rígida, na sua maioria com a presença de um cabo que gera maior desconforto para o paciente durante o exame intrabucal. Outra desvantagem dos receptores diretos é a de apresentar uma menor área ativa para formação da imagem, que o filme radiográfico e os receptores indiretos, pelas características do chip que compõem os receptores (LUDLOW; MOL, 2007). No sistema indireto, utiliza-se *Photostimulable Storage Phosphor Plate* (PSP), conhecida como placa de fósforo, como receptor de imagem. A placa armazena uma imagem latente de forma temporária, e necessita de um equipamento específico para realizar o escaneamento e enviar a imagem ao

computador. Este sistema apresenta como vantagem uma ampla escala dinâmica, formando imagens com ampla variação de dose de radiação. Outra vantagem da placa de fósforo é seu tamanho e forma similar ao filme radiográfico, sem a presença de cabos, sendo mais confortável para o paciente que os receptores diretos, durante a realização de exames intrabucais (LUDLOW; MOL, 2007). Com a radiografia digital, o método de visualização da imagem radiográfica e a comunicação entre profissionais tornaram-se mais ágeis e rápidos. Desde então, a imagem digital vem, gradualmente, integrando-se aos serviços de saúde, suportando a mudança de paradigma, i.e. a transição do prontuário de papel para o digital (VANDENBERGHE, 2018); (CALISKAN; SUMER, 2017).

1.2 Durabilidade da Placa de Fósforo

A Placa de Fósforo Fotoestimulável (PSP) é composta por uma base de poliéster, similar a base do filme radiográfico convencional, coberta por uma camada de fósforo fotossensível, constituída de cristais de BaFBr:Eu²⁺, e recoberta por uma película protetora (LUDLOW, MOL 2007). Danos físicos na PSP como arranhões, mordidas e dobras podem violar de forma permanente a camada de fósforo e gerar artefatos na imagem radiográfica, podendo induzir a erros de diagnóstico, e inutilizar o receptor de imagem (CHIU et al., 2008; BORCH; ØSTERGAARD; GOTFREDSEN; 2008; ROBERTS; MOL, 2004 ; WENZEL; MØYSTAD, 2010).

O entendimento da origem de artefatos e o seu reconhecimento nas imagens radiográficas é de extrema importância para prática clínica, visto que a redução da necessidade de repetições de exames radiográficos é um modo eficaz de reduzir a exposição do paciente a radiação ionizante. CHIU et al. em 2008 avaliaram 15.912 imagens do novo Sistema digital de placas de fósforo instalado na Universidade de Kaohsiung (Taiwan) e identificaram que aproximadamente 10% dos artefatos de imagem foram causados por danos físicos nas placas de fósforo. KALATHINGAL et al. (2010) também relacionaram estes danos como a principal causa para reposição de receptores. Além disso, WENZEL et al., em 2013 relataram que a fricção mecânica pode gerar danos nas placas e gerar artefatos radiopacos na imagem radiográfica.

Em 2004, ROBERTS e MOL descreveram a necessidade de modificação nos posicionadores radiográficos pediátricos, a fim de evitar o dano permanente e a perda

precoce das placas de fósforo. Em 2018, CHIU et al descreveram dois métodos, um utilizando o filme radiográfico não exposto, mas processado quimicamente, o outro utilizando a embalagem plástica do filme. Estes autores sugeriram que estes componentes do filme radiográfico poderiam ser posicionados entre a PSP e a capa fotoprotetora, com o objetivo de fornecer maior proteção contra danos mecânicos, no entanto a efetividade desses métodos não foi testada. Já em 2018, PEKER et al. propuseram o uso de barreira a vácuo como forma de proteção física contra contaminação cruzada para PSP, mas não avaliaram a capacidade de proteção contra danos físicos, o conforto do paciente e usabilidade do profissional com a técnica desenvolvida.

Em atendimento clínico o risco de mordidas e dobras se faz presente em todas as técnicas intrabucais, principalmente com o paciente pediátrico que tende a ser menos colaborativo (GONÇALVES et al. 2009; ROBERTS; MOL 2004). No entanto, o fabricante das placas que foram testadas neste estudo, fornece apenas uma proteção de cartolina, compatível com o tamanho 4, de placas para exames oclusais. BORCH, ØSTERGAARD e GOTFREDESEN, em 2008, realizaram teste de pressão e constataram que as placas de fósforo do Sistema VistaScan, apresentaram artefatos na imagem com pressões a partir de 1N. Segundo estudos com crianças em idade escolar, a média de força máxima de mordida de crianças se dá entre 200N a 270N (BRAUN et al 1996; GAVIÃO; RAYMUNDO 2007; MAKI et al. 2001; OHIRA et al. 2012), e segundo HATCH et al. (2001) em adultos é em torno de 600N. Baseando-se nestas informações, se faz necessário testar a resistência dos materiais à compressão, seja para avaliar se houve algum melhoramento por parte do fabricante da PSP após este estudo, como para avaliar a resistência da proteção de papel fornecida pelo fabricante e do dispositivo desenvolvido frente a diferentes forças de compressão.

Recentemente em 2016, ROVARIS et al., relataram um aumento do número de dentistas brasileiros que utilizam radiografias digitais, em sua maioria exames intrabucais, e que passaram a perceber o custo como a maior desvantagem da radiografia digital ao longo dos anos. Visto que a PSP tem o intuito de ser reutilizável inúmeras vezes, este é um desafio a ser superado nesta tecnologia. Frente ao exposto acima, este estudo procurou desenvolver e testar um dispositivo de proteção contra danos físicos, além de avaliar a qualidade das imagens obtidas.

1.3 Materiais de composição do dispositivo protetor

A escolha do material para confecção do dispositivo protetor levou em consideração as propriedades dos plásticos para uso odontológico. Entre os mais utilizados estão o polimetilmetacrilato e o acrílico de polivinilcloro (PVC), também conhecido por cloreto de polivinil e policloreto de vinila, sendo os dois plásticos utilizados na confecção de próteses dentárias.

Ambos materiais apresentam resistência à tração e compressão similares (entre 48,3 a 62,1 MPa), e boa estabilidade dimensional. No entanto o polivinil apresenta maior tenacidade, o que permite maior deformação do material antes da fratura, do que o polimetilmetacrilato, que é mais frágil (ANDREW, K. 2004), uma característica adequada para o uso repetitivo da prática radiológica, e por isso foi escolhido como componente principal do dispositivo de proteção.

O PVC é um plástico rígido com temperatura de transição vítrea (150°C) mais alta que a temperatura ambiente, e permite sua moldagem e manipulação com o uso de equipamento termoplastificador e moldes metálicos (ANDREW, K. 2004). Desta forma foi manipulado e recortado no tamanho compatível com a placa de fósforo tamanho 2.

Para escolha do componente secundário para confecção do dispositivo, foram analisados materiais que tivessem alta densidade e capacidade de absorção da radiação X, como o chumbo e o tungstênio. Tendo em vista que ambos apresentam esta capacidade (MOZEN, H. et al. 2017) foi obtido pelo uso de lâmina de chumbo, remanescente de filmes radiográficos utilizados, pelo fácil acesso ao material.

1.4 Radioproteção

A placa de fósforo possui um lado de exposição e um de não exposição, no entanto ambos os lados são capazes de formar imagem radiográfica. A diferença entre eles é que o lado de não exposição forma uma imagem espelhada, que pode causar erro de diagnóstico, e por isso não deve ser utilizada (CHIU, H.L. et al. 2008). Esta característica, de apresentar os dois lados ativos para captação de imagem, melhora o funcionamento do mecanismo de escaneamento, e permite que a dose de radiação necessária para o exame radiográfico seja reduzida (TSUDA, N. et al., 2014).

Diferentemente do filme radiográfico, não há nenhum material que barre a radiação residual na face de não exposição da placa e sinalize o erro de posição do lado do receptor, como a lâmina de chumbo.

Em 2007, KAEPLER et al. demonstraram que o acréscimo de chumbo na face de não exposição das placas de fósforo tem maior potencial de redução da radiação residual do que no filme radiográfico. Em 2015, NEJAIM et al. realizaram um estudo utilizando marcadores de radiação em regiões da cabeça e pescoço expostos durante exames radiográficos intrabucais. Estes autores avaliaram a capacidade da lâmina de chumbo, posicionada no lado não ativo de receptores digitais, de reduzir a exposição à radiação dessas regiões. O estudo identificou uma redução de 68% da radiação residual a qual o paciente é exposto durante o levantamento periapical completo com placas de fósforo, sinalizando um ganho em radioproteção para o paciente com o uso da lâmina de chumbo também no receptor digital.

NAGASAKA et al., em 2018, testaram o tungstênio, como metal alternativo ao chumbo nos exames radiográficos intrabucais com PSP, e identificaram redução na radiação residual de mais de 80%, confirmando o ganho em radioproteção com o acréscimo de uma barreira metálica na face de não exposição do receptor digital indireto.

A presença do chumbo no filme radiográfico também está relacionada com a melhora na qualidade da imagem, com a redução do *fog* na imagem, pela absorção da radiação residual (FREDERIKSEN, N.L., 2007). Em 2019, GOMES et al. realizaram um estudo avaliando a interferência da incorporação da lâmina de chumbo aos receptores digitais no diagnóstico de fratura radicular, relatando uma melhora na uniformidade da imagem digital e na qualidade subjetiva da imagem, atribuída pelos autores como consequente redução do *fog*, efeito similar ao do chumbo no filme radiográfico convencional.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Desenvolver e testar um dispositivo de proteção para placas de fósforo do sistema digital indireto de radiografia intrabucal.

2.2 ESPECÍFICOS

- i. Desenvolver o dispositivo de proteção para placas de fósforo.
- ii. Testar a capacidade de resistência à compressão do dispositivo.
- iii. Avaliar a qualidade das imagens radiográficas obtidas com o uso do dispositivo.
- iv. Avaliar a influência do tempo de exposição à radiação X na qualidade das imagens.
- v. Avaliar a influência da resolução espacial na qualidade das imagens.

3 ARTIGO

The benefits of using a photostimulable phosphor plate protective device:
Part 1 laboratory evaluation

The benefits of using a photostimulable phosphor plate protective device: Part 1 laboratory evaluation

Abstract

Objectives: To development and test a protective device (PD), to photostimulable storage phosphor (PSP) plate from VistaScan system, to improve the image receptor resistance to compressive strength.

Methods: Two prototypes were made for tests purpose. Eight new PSPs were used to test de resistance to compressive forces, divided in four test groups: (1) PSP, (2) PSP and paperboard manufacture protector, (3) PSP and 0.3mm PD, and (4) PSP and 0.7mm PD. The resulting images were analyzed by three oral radiologists, that identified by consensus the images artifacts. In a second moment, was realized the objective image quality test, with four new PSPs, using an aluminum phantom. The pixel means grey values (MGV) and standard deviation (SD) were measured in total of 240 images, and the data were analyzed using GEE (Generalized Estimating Equations), with Bonferroni post-hoc test.

Results: Artefacts were seen in the PSP's group control starting at 40N, in the 0.3mm PD at 150N, in the paperboard manufacture protector at 175N, and in the 0,75mm PD at 300N. The MGV differ from control group (p -value <0.05) in 66% of the ROIs on paperboard group, 22% in 0.3mm PD, and 33% in 0.7mm, independent of the exposure time and spatial resolution.

Conclusion: Both developed PDs improve the PSP resistance to compressive forces, with low interference on the pixel grey values, regardless exposure time and spatial resolution. Nevertheless, the 0.7mm PD was the only one capable of withstanding up to the maximum bite child force.

Keywords: Protective Devices, Dental Digital Radiography, Radiation Protection, Digital Imaging, Oral Diagnosis.

Introduction

Digital radiographs with photostimulable storage phosphor (PSP) plates have been widely used in clinical practice due to convenience and lower X-ray dose compared to conventional radiographs.^{1,2} Among current digital receivers, the PSP flexibility is recognized as an advantage, when compared to charge-couple device (CCD),^{3,4} but this physical characteristics

may be related to mechanical degradation on the phosphor layer, that had been describe as the main reason for this receptor replacenment.^{5,6} The reusable nature of the digital receptors brought new challenges to the practitioner overcome. In the PSP system is still a concern the prevention of scratches, bending, and bite-marks that may induce artefacts and potential diagnostic errors^{7,8} (Figure 1d). Bite action occurs during intraoral radiography performing, either in occlusal examinations, or even by accidentally in periapical and interproximal radiographies. Some authors had describe clinical techniques to reduce PSP damage and highlighted some difficulties related to pediatric patients, who could have a harder conditioning by age or even restricted mouth opening, anatomical features, and so on.^{5,9} The mean bite force increases throughout human growth and development,¹⁰ and the maximum bite force in children may range from 200N to 270N according to age.¹⁰⁻¹⁴ It is expected to image receptor resists to these forces. Yet, the PSP VistaPerio (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) resistance was tested by Borch V. et al (2008)¹⁵ that found scratches in the phosphor layer from 1N force, causing image artifacts.

Nowadays, a dual-side-reading technology was developed in an effort to reduce the image noise in PSP,¹⁶ allowing this receptor to produce radiographic images on both sides. This characteristic is possible due to the absence of an opaque support in the back side of the PSP, with no lead foil used as conventional films. In spite of that, some authors tested shielding materials to reduce the behind radiation dose with PSP radiographics^{17,18}. Nejaim Y. et al (2015)¹⁷ have shown the efficacy of lead foil to reduction the residual radiation dose in PSP intraoral examinations. A even better absorbed radiation redution were found by Nagasaka T. et al (2018)¹⁸ with the use of tungten sheet, as an alternative to lead foil. In addition to the radioprotection feature, the lead foil has the benefit of scattered radiation shielding with enhanced the image quality even in PSP, as evidenced by Gomes AF. et al (2019)¹⁹. These previous studies showed that the addition of a lead foil during the PSP radiographics reduced the absorbed radiation dose and improves the image quality, producing a possitive effect.

The PSP plate has an indirect nature of image acquisition that requires additional scanner equipment to realize the digital processing. The scanner functionality is a feature of every manufacturer, that works in conjunction with PSP technology.²⁰ Therefore, any effort to increase the receiver resistance to mechanical forces, or to reduce the residual patient radiation, and improve image quality, must not harm the operating system.

The main purpose of this study was to develop a protective device for intraoral PSP, which provides resistance to compressive strength, and patient radioprotection without interfere on

the functionality of the equipment. Furthermore, we evaluated the device effects on digital image quality, under different exposure time settings and different spatial resolution.

Material and methods

The Research Ethics Committee of the Dental School, of the Federal University of Rio Grande do Sul approved this study under the protocol number: 12127219.9.00005347.

Protection device development

Two prototypes devices have been developed to PSP VistaScan plate size 2 (3 x 4cm). Both made with same design and using a Polyvinyl Chloride (PVC), but one with 0.3mm sheet, and other one thicker, with 0.7mm sheet (Bio-Art Dental Equipments Ltd., Brazil). PVC is a polymer widely used in dentistry, especially for making aligners and retainers, that presents physical properties as toughness and elastic deformation, indicated to repetitive use of radiological clinical practice. In addition, it was joined a lead foil, from a radiographic film, adapted to the thermoplastic sheet with a vacuum former machine (VH Essence Dental, Brazil), only in one side of the device and remaining totally isolated (Figure 1a, 1b and 1c).

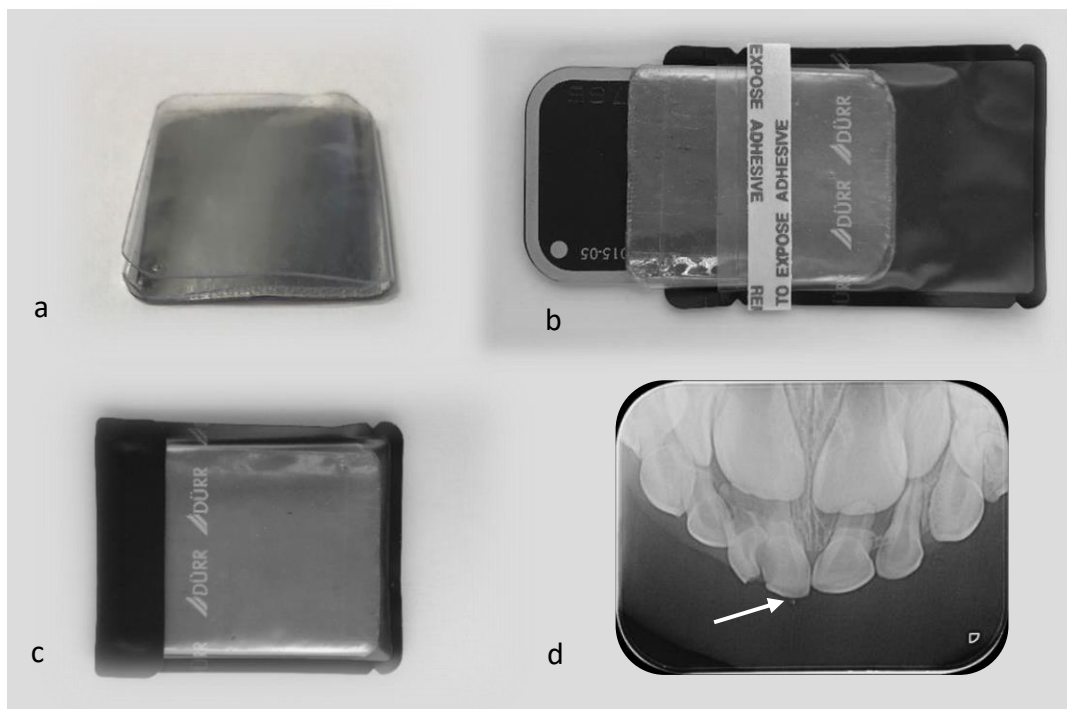


Figure 1. (a) 0,3mm protective device by itself, (b) Image of the PSP used with protective device, and (c) with light protection cover sealed. (d) Radiographic image of a five years old child, made with modified occlusal technique. It is possible to observe the artefact close to the incisal of the deciduous tooth 51, resulting of the bite force.

Mechanical compression test

Eight new PSP (VistaScan, Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) were used in this experiment, divided in four test groups: (1) PSP, control; (2) PSP with paperboard bite block protector (VistaScan, Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany); (3) PSP with 0.3mm PD and (4) PSP with 0.7mm PD, with two PSPs for group. The capacity to resist bite force has been tested on the machine EZ Test EZ-SX (Shimadzu Scientific Instruments, Kyoto, Japan) (Figure 2a) with a 4cm metal wedge, under forces from 10N to 400N in twelve different PSP sites (Figure 2b). All PSPs were exposed with a dental X-ray equipment Timex 70c X-ray generator (GNATUS, Barretos, São Paulo, Brazil) at 70kVp and 7mA, in a standard position with a focus-to-film distance of 30cm, with 0.16s exposure time. The plates were scanned in the VistaScan Mini View (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) with 20 lp/mm setting, using automatic exposure control (AEC). The receptors were checked before the experiment, to verify that there were no scratches or other defects, and all the experiment were made with light protection cover. Three experience oral radiologists evaluated the eight images on the same monitor and workstation, blinded to the images data, and determined by consensus the presence or absence of image artifact.

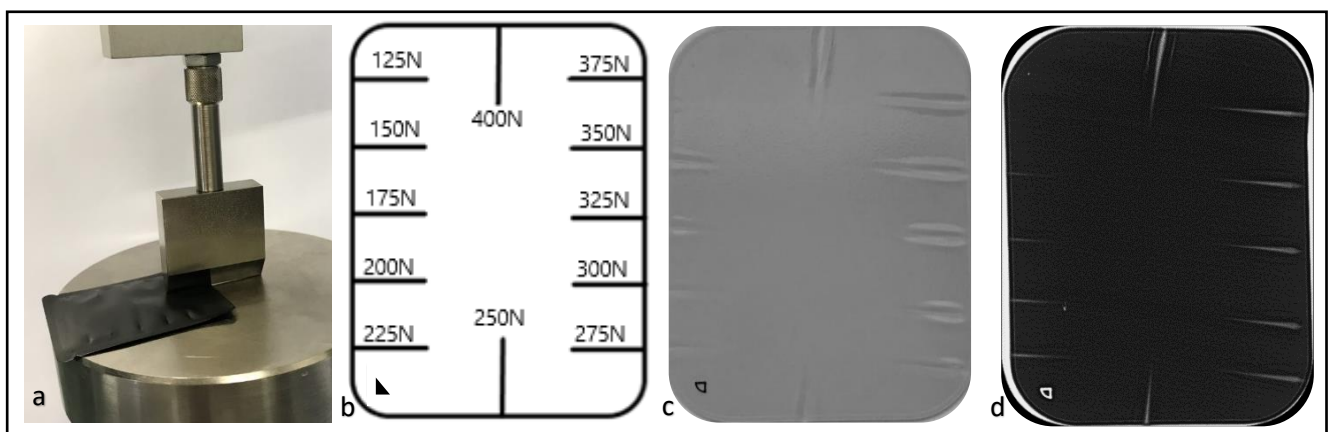


Figure 2. (a) Image of EZ Test machine used in the mechanical compression test, (b) sample compression forces, (c) PSP from the 0.3mm device, and (d) test the result image.

Image quality test

This experiment included four new PSP plates (VistaScan, Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) checked before to have no scratches or other defects, and all used in the same four groups, explained on the first test.

The images were acquired using the parallel technique with the same X-ray equipment, at 70kVp and 7 mA, with a focus-to-film distance of 30cm, in a standard position. All radiographic exposures included an aluminum step wedge phantom with eight steps (each 5mm thick), and a 1.5cm thick dental wax, located in front of the phantom, as a soft tissue equivalent attenuator.

The exposure parameters were determined based on the manufacture information for an adult interproximal radiographic exam, plus two lower doses and two higher doses, what happens to be: 0.06; 0.10; 0.16; 0.25 and 0.40s.

After acquisition, the images obtain were scanned with three different spatial resolution: 20 lp/mm; 25 lp/mm; 40 lp/mm, in the VistaScan Mini View device (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany), all of which were generated using automatic exposure control (AEC), (Figure 3).

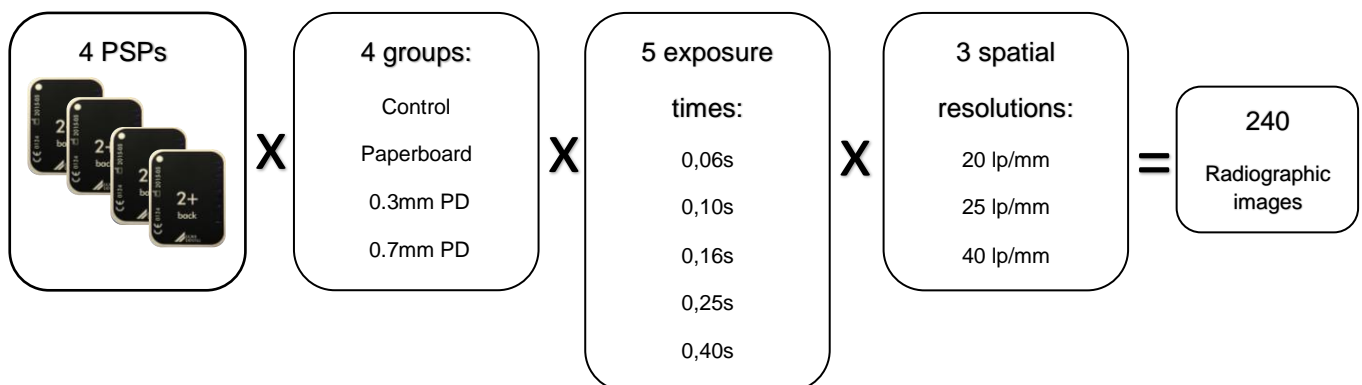


Figure 3. Methodology flowchart for image quality test.

The 240 resulting digital images were transferred as 8-bit TIFF (Tagged Image File Format) to a desktop computer Intel Duo Core 2 Ghz CPU, 4 GB RAM, Windows 7 Pro operating system, 19" monitor, with 1,280 x 1,024 screen resolution, 32-bit color mode, complies with IEC 60950-1 (International Electrotechnical Commission Co., LTD., Geneva, Switzerland) (Dell Inc., Texas, USA) and evaluated with software ImageJ (v.1.52q; National Institute of Health,

Bethesda, Maryland, USA). The radiodensity of the 8-bit digital images is expressed by a grey scale ranging from 0 (black) to 255 (white)²⁰. The grey value was measured in nine rectangular (3.7 x 1.5mm) regions of interest (ROI) in each image, defined first in the background (D0), by the right side the scale, and in the center of each one of the eight steps of the aluminum phantom (D1 to D8). Figure 4 shows the ROI placement in an image sample.

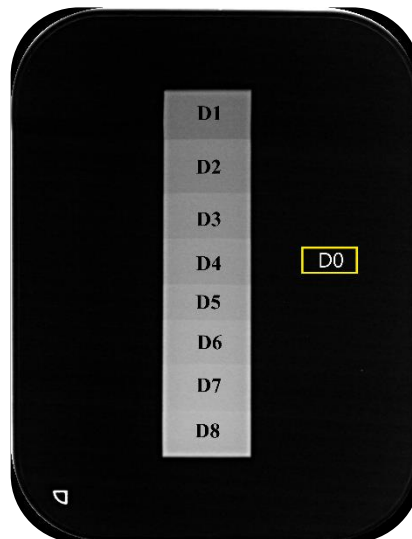


Figure 4. Sample image used for MGV measurement and the ROIs placement.

Statistical Analysis

The data of the image quality test were analyzed using the SPSS software v.18.0 (IMB. Corp., Armonk, NY) using GEE (Generalized Estimating Equations), with Bonferroni post-hoc test to determine changes in grey values between the groups, the exposure times and the scanning spatial resolution, as well as the means and standard deviation. In all analyses, p-value < 0.05 indicates statistical significance.

Results

Mechanical compression test

Artefacts were seen in the PSP's group control starting at 40N, in the 0.3mm PD at 150N (Figure 2c and 2d), and in the 0,7mm PD at 300N. The paperboard protector offered resistance up to 175N, surprisingly larger than the 0.3mm PD.

Image quality test

Comparing with control group, paperboard group showed statistic significantly difference ($p < 0.05$) in the mean grey values (MGV) in 66% of the ROIs, while the 0.7mm PD had 33%, and 0.3mm PD showed 22%, independent of the exposure time and spatial resolution (Table 1). Exposure time, in the eight ROIs measured in the aluminum wedge (D1 to D2), showed a statistical difference ($p < 0.05$) in MGV and standard deviation of the pixel values (SD), while the ROI background (D0) did not show a statistical difference ever, independently of the groups.

Table 1. Mean grey value (MGV) and standard deviation (SD) of the groups, in the times exposure settings.

	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8
Control	a	a	a	a	a	a	ab	a	a
0.06s	10.8 (2.6)	113.0 (4.7)	129.5 (4.6)	142.5 (4.4)	152.7 (4.3)	162.9 (4.3)	171.3 (4.1)	178.7 (4.0)	183.2 (3.9)
0.10s	10.4 (2.3)	113.8 (4.1)	133.8 (4.1)	143.7 (3.9)	154.1 (3.8)	164.3 (3.7)	172.7 (3.6)	180.0 (3.5)	185.0 (3.4)
0.16s	10.2 (2.1)	116.1 (3.5)	135.8 (3.4)	145.9 (3.4)	156.0 (3.2)	166.3 (3.2)	174.7 (3.0)	181.5 (3.0)	185.7 (3.0)
0.25s	10.3 (1.8)	116.5 (3.2)	133.8 (3.1)	147.1 (2.9)	157.1 (2.8)	167.6 (2.8)	176.0 (2.6)	182.6 (2.6)	187.3 (2.5)
0.40s	10.2 (1.6)	117.8 (2.7)	135.3 (2.7)	148.5 (2.5)	158.6 (2.4)	169.0 (2.3)	177.3 (2.2)	184.3 (2.2)	188.5 (2.1)
Paperboard	b	b	b	b	b	a	ab	b	a
0.06s	10.2 (2.5)	112.3 (4.8)	129.0 (4.6)	142.0 (4.5)	152.5 (4.3)	163.0 (4.3)	171.6 (4.1)	179.4 (3.9)	183.7 (3.9)
0.10s	9.5 (2.3)	112.6 (4.4)	129.7 (4.1)	142.5 (4.0)	153.2 (3.9)	163.9 (3.8)	172.8 (3.7)	180.4 (3.5)	184.5 (3.6)
0.16s	10.0 (2.0)	114.1 (3.8)	132.0 (3.5)	144.7 (3.4)	155.3 (3.3)	166.0 (3.2)	174.7 (3.1)	182.2 (3.0)	186.1 (3.0)
0.25s	9.9 (1.8)	115.5 (3.4)	133.5 (3.1)	146.5 (3.1)	156.9 (2.9)	167.7 (2.8)	176.1 (2.6)	183.6 (2.6)	187.4 (2.6)
0.40s	9.6 (1.6)	116.0 (3.0)	134.3 (2.7)	147.3 (2.7)	157.8 (2.5)	168.6 (2.4)	177.1 (2.3)	184.4 (2.3)	187.9 (2.4)
0.3mm PD	c	bc	ab	ab	a	a	b	ab	a
0.06s	12.9 (2.9)	111.7 (5.0)	129.6 (4.9)	142.8 (4.7)	153.2 (4.6)	163.5 (4.6)	172.3 (4.3)	179.4 (4.2)	183.5 (4.2)
0.10s	12.6 (2.6)	112.2 (4.6)	131.0 (4.3)	143.8 (4.3)	154.2 (4.2)	164.7 (4.1)	173.4 (3.8)	180.7 (3.8)	185.1 (3.8)
0.16s	12.8 (2.3)	113.9 (3.8)	132.4 (3.8)	145.4 (3.6)	156.0 (3.5)	166.3 (3.4)	175.0 (3.2)	182.0 (3.1)	186.1 (3.1)
0.25s	12.0 (2.0)	115.5 (3.5)	134.0 (3.3)	147.1 (3.2)	157.3 (3.0)	167.8 (2.9)	176.2 (2.8)	183.2 (2.7)	187.1 (2.8)
0.40s	12.6 (1.8)	116.8 (3.0)	135.3 (2.7)	148.6 (2.7)	158.8 (2.6)	169.2 (2.5)	177.7 (2.4)	184.9 (2.3)	189.1 (2.3)
0.7mm PD	c	ac	a	a	a	a	a	c	b
0.06s	12.9 (2.8)	112.7 (4.9)	130.5 (4.8)	143.0 (4.7)	152.9 (4.6)	162.9 (4.5)	171.2 (4.3)	177.8 (4.1)	180.7 (4.3)
0.10s	12.4 (2.6)	113.4 (4.4)	130.9 (4.3)	143.7 (4.2)	153.7 (4.0)	163.7 (4.0)	172.0 (3.9)	178.5 (3.8)	181.4 (3.8)
0.16s	12.7 (2.3)	115.5 (3.8)	133.0 (3.7)	145.8 (3.6)	156.0 (3.5)	165.9 (3.4)	174.0 (3.2)	180.6 (3.1)	183.4 (3.3)
0.25s	12.9 (2.0)	116.7 (3.4)	134.9 (3.2)	147.5 (3.1)	157.4 (3.0)	167.3 (3.0)	175.5 (2.8)	182.0 (2.8)	184.9 (2.9)
0.40s	12.5 (1.8)	117.7 (2.9)	135.8 (2.7)	148.4 (2.6)	158.4 (2.5)	168.5 (2.5)	176.5 (2.4)	182.8 (2.4)	185.9 (2.5)

Different letters indicate significant difference of the mean grey values (MGV) of the measured ROIs, only between the groups (columns), without interaction of exposure times, according to Bonferroni test.

The spatial resolution of 20 lp/mm showed higher MGV than 25 and 40 lp/mm ($p < 0.05$), with also bigger SD (p -value < 0.05), in all the tested groups (Figure 5).

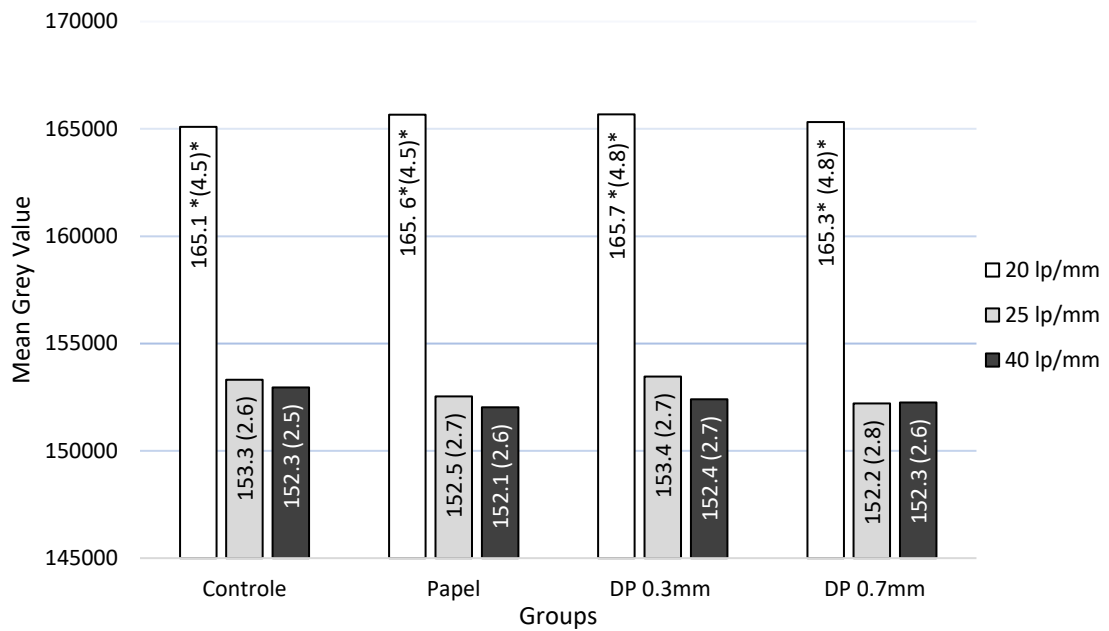


Figure 5. Graph showing de MGV and SD obtain in the four tested groups, in different spatial resolution.

* Indicate significant difference of the mean grey values (MGV) and standard deviation of the pixel values (SD) of the mean of all measured ROIs according to Bonferroni test.

Discussion

Digital radiography have advantages to conventional radiography as no chemical waste, lower exposure dose, and possibility of adjustments through software tools.^{21–23} In spite of these advantages, the durability of the PSP receptor has been questioned and studied. Ergun *et al* (2009)²⁴ and Matsuda *et al* (2011)²⁵ evaluated the digital image quality, by focus on some possible plate corruption or signal fading over to long-term use, which was not found to be a problem. Over time, some authors began to relate new aspects of image artifacts with indirect digital system, as operator error, scanning machine error and receptor mechanical damage.^{7,21,26,27} Berdard *et al* (2004)²⁸ related the appearance of scratches to the placement of the plate on the drums scanner system, suggesting manufacturer's changes. On the same year, Roberts and Mol⁵ had seek for alternative clinical techniques to reduce physical damage on PSP, by adapting intraoral position device and add sponge pads to the PSP light protection cover. Nowadays, there is still a concern in reduce receptor damage. With this protective purpose, Chiu *et al* (2018)²⁹ published two method to protect the PSP, both using parts of the conventional radiography film, one with a non-exposed conventional film chemical processed, and another with the plastic envelope film, both used over PSP and under the light protection cover. These methods use easily accessible materials, but unfortunately the authors did not test

the effective protection over the receptor, and the influence on quality image. Peker *et al* (2018)³⁰ realized a pilot study of a vacuum sealing barrier method for PSP, analyzing microbiologic contamination and image quality. Even with a focus on cross-contamination prevention, this method could provide bigger resistance to mechanical forces, but that characteristic was not test.

There are scarce information about the physical resistance of the PSP, we only found a work published in Danish, by Borch *et al* (2008)¹⁵ that assess the occurrence of damage of four different PSP manufactures. With a different methodology, the authors applied pressures of 10g to 300g over PSPs, and pulled away, to simulate a scratch on plate, and the VistaPerio plates (Dürr Dental, Bietigheim-Bissingen, Germany) images first seen scratches was at 100g load, corresponding to 1N. In our study, we didn't test the plate scratch resistance, but the plate compression resistance, and the first seen artifact on the VistaScan PSP was at 40N load. Between the test groups, the 0.3mm PD showed lower resistance to compressive forces, even when compared to the paperboard protector. The 0.7mm PD showed the highest resistance, with first artifact seen at 300N, proving to be able to withstand the children maximum occlusion force. Even it is not expected to the pediatric patients to bite with the maximum occlusal force, it is prudent to consider this possibility, and give scientific background to the practitioner to choose the best approach, especially in less collaborative patients.

The radioprotective effect of the use of a lead foil in the back side of the VistaScan PSP was tested for Nejaim *et al* (2015).¹⁷ They found a reduction to 32% in the radiation absorption by anatomical sites of the head and neck, during intraoral radiographic exams. The presence of lead in both PDs follows the ALARA principle (as low as reasonably achievable),³¹ and increases patient radioprotection, which is most desirable for children's examinations, the target population of these device. According to Gomes *et al* (2019)¹⁹ the addition of a lead foil on VistaScan PSP also produces positive effects in image quality by resulting on more uniform pixel values, attributed to a decrease in the fog formation. The tested PDs showed radiographic images with lower interference in the MGV than paperboard protector, probably due to present lead foil, and it's feature on block the backscatter radiation, and reduce the image fog.

The PSP system has a wider dynamic range among radiography receptors.^{2,32} This feature allows it to produce an acceptable image with a large variation in radiation dose. The five exposure times tested in this study demonstrated a direct relation between increased exposure time and MGV, and inverse relation with standard deviation of the pixel values, independent of the tested group. This behavior is probably an interference of the automatic range control (AEC)

of the VistaScan system, that performs a pre-processing in the image, to obtain the optimum contrast after data acquisition, and before display of it.^{33,34} This interactions between the radiation dose and the MGV has already been described as a characteristic of the PSP system,³⁵ and reported by Dasputisag *et al*³⁶ as a linearity response of the current VistaScan system, that elevate the image grey values in order to retain the best contrast to diagnosis tasks, and this way establish a wider dynamic range. However, there seems to not be possible to extrapolate these results to another manufacturers indirect systems, since different findings were related to PSP Digora Optime (Soredex, Tuusula, Finland).^{37,38}

Another factor analyzed in this study was the spatial resolution, that is a characteristic of the image quality, that concern to detail visualization in a radiographic image.²⁰ In digital radiographic image, it is also related to the pixel size, digital archive size, scanning time, and in some systems this feature can be selected in the scanning moment. Currently, the manufacturer claims that VistaScan system has an effective resolution of 22 lp/mm, but there is no such option in the scanner selector. In the present study, the spatial resolution was the tested factor with the most significant difference, where 20 lp/mm had whiter images with higher SD than 25 and 40 lp/mm. In digital radiography, the SD of the pixel values is used in metrics to evaluate image noise, that can injury diagnose.^{36,38-41} We didn't test if this modification on MGV and SD, cause modification on the image contrast and diagnostic tasks, but Berkhout *et al* (2004)³² has demonstrated that even without loss on diagnostic quality, whiter images with higher noise can unfavorable influence practitioner preference to use higher radiation doses. The influence of spatial resolution *per se* on digital imaging diagnosis has been studied and is still a matter without consensus.⁴²⁻⁴⁵ However, the reduced scanning time and less take up storage space may be a benefit to the dentist in daily work, and influence his or her choice.⁴² Given our findings and the small differences between 20 and 25 lp/mm of these functional characteristics in the routine, we suggest the use of 25 lp/mm in the VistaScan Miniview system, as a general recommendation for a gain in the image quality. Even if, it would be prudent to establish spatial resolution configuration protocols for each diagnostic purpose, for every digital system. Besides that, it should be taken into account that digital radiography manufacturers make adjustments and improvements over time, and this requires constant updating of acquisition protocols.

Until this research development, no previous paperboard protector study was found in the literature. This VistaScan supplementary protector is only available to plate size 4 and has

shown to increase the PSP resistance to compressive forces by more than four times. It was, however, the device with the biggest difference in MGV compared to the control group.

Conclusion

In conclusion, both developed PDs (0.3 and 0.7mm) improve the PSP resistance to compressive forces, and provide radioprotection to the patient, with low interference on the pixel grey values, regardless exposure time and spatial resolution. Nevertheless, the 0.7mm PD was the only one capable of withstanding up to the maximum bite child force. The VistaScan system has the characteristics of raise grey values and diminish SD of grey values with increasing exposure time, and 20 lp/mm showed whiter images with higher SD of grey values than 25 and 40 lp/mm. Further studies will be taken to analyze the patient comfort, professional usability and subjective image quality before to full indicate the use of the new PD.

Acknowledgments

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

References

1. Haiter-Neto F, dos Anjos Pontual A, Frydenberg M, Wenzel A. Detection of non-cavitated approximal caries lesions in digital images from seven solid-state receptors with particular focus on task-specific enhancement filters. An ex vivo study in human teeth. *Clin Oral Investig*. 2008;12(3):217–223.
2. Wenzel A, Møystad A. Work flow with digital intraoral radiography: A systematic review. *Acta Odontol Scand*. 2010;68(2):106–114.
3. Wenzel, A., Frandsen E. HH. Patient discomfort and cross-infection control in bitewing examination with a storage phosphor plate and a CCD-based sensor. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects*. 1999;27:243–246.
4. Jørgensen PM, Wenzel A. Patient discomfort in bitewing examination with film and four digital receptors. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2012;41(4):323–327.

5. Roberts MW, Mol A. Clinical Techniques to Reduce Sensor. *J Denistry Child*. 2004;71:169–170.
6. Kalathingal SM, Shroul MK, Comer C, Brady C. Rating the extent of surface scratches on photostimulable storage phosphor plates in a dental school environment. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2010;39(3):179–183.
7. Caliskan A, Sumer AP. Definition, classification and retrospective analysis of photostimulable phosphor image artefacts and errors in intraoral dental radiography. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2017;46; doi: 10.1259/dmfr.20160188.
8. Gulsahi A, Secgin CK. Assessment of intraoral image artifacts related to photostimulable phosphor plates in a dentomaxillofacial radiology department. *Niger J Clin Pract*. 2016;19(2):248–253.
9. Kumar R, Khambete N, Priya E. Extraoral periapical radiography: An alternative approach to intraoral periapical radiography. *Imaging Sci Dent*. 2011;41(4):161–165.
10. Braun S., Hnat W., Freudenthaler J., Marcotte M., Höngle K. JB. A study of maximum bite force during growth and development. *Angle Orthod*. 1996;66(4):261–264.
11. Maki K, Nishioka T, Morimoto A, Naito M, Kimura M. A study on the measurement of occlusal force and masticatory efficiency in school age Japanese children. *International Journal of Paediatric Dentistry*. 2001; 11:281–285.
12. Gavião, M. B.D., Raymundo V.G. RAM. Masticatory performance and bite force in children with primary dentition Performance mastigatória e força de mordida em crianças na dentição decídua. *Pediatr Dent*. 2007;21(2):146–152.
13. Ohira A, Ono Y, Yano N, Takagi Y. The effect of chewing exercise in preschool children on maximum bite force and masticatory performance. *Int J Paediatr Dent*. 2012;22(2):146–153.
14. Araujo DS, Marquezim MCS, Barbosa TDS, Gavião MBD, Castelo PM. Evaluation of masticatory parameters in overweight and obese children. *Eur J Orthod*. 2016;38(4):393–397.
15. Borch V, Østergaard M, Gotfredsen E. Identifikation af billedfejl, der er særlige for røntgenoptagelse med digitale intraorale receptorer (with na English summarty). *Danish Dental J* 2008;112:720-731.

16. Tsuda N, Tanaka N, Akasaka T, Yabuuchi H, Morishita J. Dose reduction in general radiography for adult patients by use of a dual-side-reading photostimulable phosphor plate in a computed radiography system. *Radiol Phys Technol.* 2014;7(2):310–315.
17. Nejaim Y, Silva AIV, Brasil DM, Vasconcelos KF, Haiter Neto F, Boscolo FN. Efficacy of lead foil for reducing doses in the head and neck: A simulation study using digital intraoral systems. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2015;44(8); doi: 10.1259/dmfr.20150065.
18. Nagasaka T, Izumu M, Gotoh K, Kuwada T, Kise Y, Katsuma A, Arijii E. Use of tungsten sheet as an alternative for reducing the radiation dose behind the digital imaging plate during intra- oral radiography. *Dentomaxillofacial Radiology* 2018; 47; doi: 10.1259/dmfr.20180161.
19. Gomes AF, Nejaim Y, Fontenele RC, Haiter-neto F. Influence of the incorporation of a lead foil to intraoral digital receptors on the image quality and root fracture diagnosis. 2019; 48; doi: 10.1259/dmfr/82025587.
20. Ludlow JB, Mol A. Imagem Digital. In: White SC, Pharoah MJ (5 ed) *Oral Radiology: Principles and Interpretation.* Rio de Janeiro, BR: Elsevier Editora, 2007. p. 225-245.
21. Wenzel A, Kornum F, Knudsen MR, Frandsen Lau E, Møystad A, Badan Pusat Statistik, et al. Comparison of the accuracy of conventional and digital radiography in root canal working length determination: An in vitro study. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2009;9(2):248–253.
22. Akdeniz BG, Gröndahl HG, Kose T. Effect of delayed scanning of storage phosphor plates. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2005;99(5):603–607.
23. Yaghooti Khorasani MM, Ebrahimnejad H. Comparison of the accuracy of conventional and digital radiography in root canal working length determination: An in vitro study. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2017;11(3):161–165.
24. Ergün S, Güneri P, Ilgüy D, Ilgüy M, Boyacioğlu H. How many times can we use a phosphor plate? A preliminary study. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2009;38(1):42–47.
25. Matsuda Y, Sur J, Araki K, Okano T. Durability of Digora Optime imaging plates. *Oral Radiol.* 2011; 27:28–34.
26. Chiu HL, Lin SH, Chen CH, Wang WC, Chen JY, Chen YK, et al. Analysis of

- photostimulable phosphor plate image artifacts in an oral and maxillofacial radiology department. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2008;106(5):749–756.
27. Tax CL, Robb CL, Brilliant MGS, Doucette HJ. Integrating photo-stimulable phosphor plates into dental and dental hygiene radiography curricula. *J Dent Educ*. 2013;77(11):1451–1460.
 28. Bedard A, Davis TD, Angelopoulos C. Storage phosphor plates: How durable are they as a digital dental radiographic system? *J Contemp Dent Pract*. 2004;5(2):57–69.
 29. Chiu HL, Wei YW, Wang WC, Chen YK. Simple and effective methods to protect the photostimulable phosphor storage plate sensor. *J Dent Sci*. 2018;13(1):85–86.
 30. Peker I, Peker E, Basman A, Akca G, Odabas ME, Haciosmanoglu N, et al. A pilot study of the effects of a vacuum sealing barrier method for photostimulable phosphor plates regarding plate damage and prevention of microbiologic cross-contamination. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2018;126(3):283-290.
 31. Protection TIC on R. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Vol. 37, ICRP PUBLICATION 103. 2007. p. 1–332.
 32. Berkhout WER, Beuger DA, Sanderink GCH, Van Der Stelt PF. The dynamic range of digital radiographic systems: Dose reduction or risk of overexposure? *Dentomaxillofacial Radiol*. 2004;33(1):1–5.
 33. Yoshiura K, Nakayama E, Shimizu M, Goto TK, Chikui T, Kawazu T, et al. Effects of the automatic exposure compensation on the proximal caries diagnosis. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2005;34(3):140–144.
 34. Hayakawa Y, Farman AG, Scarfe WC, Kuroyanagi K. Pixel value modification using RVG-4 automatic exposure compensation for instant high-contrast images. *Oral Radiol*. 1996;12(1):11–17.
 35. Hildebolt CF, Fletcher G, Conover GL, Vannier MW. A comparison of the response of storage phosphor and film radiography to small variations in X-ray exposure. 1997;26:147–151.
 36. Dashpuntsag O, Yoshida M, Kasai R, Maeda N, Hosoki H, Honda E. Numerical Evaluation of Image Contrast for Thicker and Thinner Objects among Current Intraoral

- Digital Imaging Systems. *Biomed Res Int*. 2017; doi.org/10.1155/2017/5215413.
37. Borg E, Attaelmanan A, Gr H. Image plate systems differ in physical performance. *2000;89:118–124*.
 38. Hayakawa Y, Farman AG, Kelly MS, Kuroyanagi K. Intraoral radiographic storage phosphor image mean pixel values and signal-to-noise ratio: Effects of calibration. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998;86(5):601–605.
 39. Hellén-Halme K, Johansson C, Nilsson M. Comparison of the performance of intraoral X-ray sensors using objective image quality assessment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* . 2016;121(5):129–137.
 40. Uffmann M, Schaefer-Prokop C. Digital radiography: The balance between image quality and required radiation dose. *Eur J Radiol*. 2009;72(2):202–208.
 41. Seibert JA. Digital radiography: Image quality and radiation dose. *Health Phys*. 2008;95(5):586–598.
 42. Ferreira LM, Queiroz PM, Santaella GM, Wenzel A, Groppo FC, Haiter-Neto F. The influence of different scan resolutions on the detection of proximal caries lesions. *Imaging Sci Dent*. 2019;49(2):97–102.
 43. Künzel A, Weimar S, Willers R, Becker J. Diagnostic of tooth fractures with the Vistascan system. *Dent Traumatol*. 2008;24(5):537–541.
 44. Li G, Berkhout WER, Sanderink GCH, Martins M, Van Der Stelt PF. Detection of in vitro proximal caries in storage phosphor plate radiographs scanned with different resolutions. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2008;37(6):325–329.
 45. Wenzel A, Haiter-Neto F, Gotfredsen E. Influence of spatial resolution and bit depth on detection of small caries lesions with digital receptors. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2007;103(3):418–422.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste dispositivo de proteção surgiu de uma necessidade prática de preservação das PSPs do serviço de radiologia da Faculdade de Odontologia da UFRGS. O sistema digital de radiografias intrabucais foi instalado no segundo semestre do ano de 2017, e passou a ser utilizado pelos alunos de graduação no Programa de Extensão em Radiologia Odontológica, com atendimento de pacientes da rede pública de saúde da região metropolitana de Porto Alegre. Conforme a literatura existente, os danos físicos nas placas eram maiores durante as primeiras semanas de atendimento dos extensionistas, após um período de treinamento e prática ocorria uma redução na incidência de danos de manipulação. No entanto, a cada semestre era necessário a reposição de placas inutilizadas por mordidas e dobras, e a cada semestre um novo grupo de alunos era treinado, uma rotina comum dentro do meio acadêmico.

Dessa forma, pensou-se no desenvolvimento de um dispositivo que pudesse proteger a PSP, independente da habilidade do operador e da colaboração do paciente, para ser usado na situação clínica que se julgasse mais necessário.

Técnicas de preservação e dispositivos de proteção têm a intenção de aumentar a vida útil do equipamento, dessa forma reduzir a necessidade de reposição e conseqüentemente reduzir custos financeiros. O acréscimo da lâmina de chumbo no dispositivo de proteção agregou o aumento da radioproteção, com redução no custo biológico para o paciente, para realização do exame intrabucal.

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, o primeiro protótipo foi apresentado na JABRO (Jornada da Associação Brasileira de Radiologia Odontológica) em agosto de 2018, em Campos do Jordão, SP. Visto o interesse comercial, foi depositado pela UFRGS o pedido de patente junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) sob número BR 10 2019 018486-8, data de depósito 05/09/2019.

Atualmente o dispositivo está exposto na Vitrine Tecnológica da UFRGS (<https://www.ufrgs.br/vitrinetecnologica/biotecnologia/dispositivo-protecao-placas-exames-radiograficos-intraorais/>), gerenciada pela SEDETEC (Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico), na pasta de Biotecnologia, Materiais, Nanotecnologia, Saúde e Bem-Estar, que visa favorecer a interação da Universidade com a Sociedade

e assim abrir canais de negociação com empresas e demais instituições que possam se interessar em desenvolver esta tecnologia.

Os achados laboratoriais deste estudo irão embasar futuros estudos clínicos para avaliação do conforto do paciente, usabilidade do profissional e qualidade subjetiva da imagem radiográfica, afim de fornecer maior suporte científico para o desenvolvimento e uso clínico deste dispositivo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

5 REFERÊNCIAS

- ANDREW, K. Aplicações Protéticas dos Polímeros. In: CRAIG R.G.; POWERS, J.M. *Materiais Dentários Restauradores*. 11 Ed, São Paulo: Livraria Santos, 2004. p. 635-681.
- BORCH, V.; ØSTERGAARD, M.; GOTFREDSEN, E. Identifikation af billedfejl, der er særlige for røntgenoptagelse med digitale intraorale receptorer. (with an English summary). **Danish Dental J**, v. 112, n. 8, p. 720-731, 2008.
- BRAUN S., HNAT W., FREUDENTHALER J., MARCOTTE M., HÖNGLE K., J. B. A study of maximum bite force during growth and development. **The Angle Orthodontist**, v. 66, n. 4, p. 261–264, 1996.
- CALISKAN, A.; SUMER, A. P. Definition, classification and retrospective analysis of photostimulable phosphor image artefacts and errors in intraoral dental radiography. **Dentomaxillofacial Radiol**, v. 46, n. 3, 2017; doi: 10.1259/dmfr.20160188.
- CANDEIRO, G.; BRINGEL, A.; VALE, I. Radiologia Digital: Revisão da Literatura. **Revista Odontológica de Araçatuba**, v. 30, n. 2, p. 38–44, 2009.
- CHIU, H.L. et al. Analysis of photostimulable phosphor plate image artifacts in an oral and maxillofacial radiology department. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, Oral Endodontic**, v. 106, n. 5, p. 749-756, 2008.
- CHIU, H.L.; WEI, Y.W.; WANG, W.C.; CHEN, Y.K. Simple and effective methods to protect the photostimulable phosphor storage plate sensor. **Journal of Dental Sciences**, v. 13, n. 1, p. 85-86, 2018.
- FREDERIKSEN N.L. Radioproteção. In: WHITE, S.C.; PHAROAH, M.J. *Oral Radiology: Principles and Interpretation*. 5 Ed, Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2007. p. 47-94.
- GAVIÃO, M. B.D., RAYMUNDO V.G., R. A. M. Masticatory performance and bite force in children with primary dentition Performance mastigatória e força de mordida em crianças na dentição decídua. **Pediatric Dentistry**, v. 21, n. 2, p. 146–152, 2007.

GOMES, A.F.; NEJAIM, Y.; FONTENELE, R.C.; HAITER-NETO, F.; FREITAS, D.Q. influence of the incorporation of a lead foil to intraoral digital receptors on the image quality and root fracture diagnosis. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 46, n. 6, 2019; doi: 10.1259/dmfr.20180369.

GONÇALVES, A.; WIEZEL, V.G.; GONÇALVES, M.; HEBLING, J.; SANNOMIYA, E.K. et al. Patient comfort in periapical examination using digital receptors. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 38, n. 7, p. 484–488, 2009.

HATCH, J. P. et al. Determinants of masticatory performance in dentate adults. **Archives of Oral Biology**, v. 46, n. 2000, p. 641–648, 2001.

KAEPLER, G.; DIETS, K.; HERTZ, K.; REINERT, S. Factors influencing the absorbed dose in intraoral radiography. **Dentomaxillofacial Radiology**, v.36, n. 8, p. 506-513, 2007.

KALATHINGAL, S.M.; SHROUT, M.K.; COMER, C.; BRADY, C. Rating the extent of surface scratches on photostimulable storage phosphor plates in a dental school environment. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 39, n. 3, p. 179-183, 2010.

LUDLOW, J.B.; MOL, A. Imagem Digital. *In*: WHITE, S.C.; PHAROAH, M.J. **Oral Radiology: Principles and Interpretation**. 5 Ed, Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2007. p. 225-245.

MAKI, K. et al. A study on the measurement of occlusal force and masticatory efficiency in school age Japanese children. **International Journal of Paediatric Dentistry**, v.11, p. 281–285, 2001.

MONZEN, H. et al. A novel radiation protection device based on tungsten functional paper for application in interventional radiology. **Journal of Applied Clinical Medical Physics**, v.18, n.3, p.215-220, 2017.

MOUYEN, F. et al. Presentation and physical evaluation of RadioVisioGraphy. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 68, n. 2, p. 238–242, 1989.

NAGASAKA, T. Use of tungsten sheet as an alternative for reducing the radiation dose behind the digital imaging plate during intra-oral radiography. **Dentomaxillofacial**

Radiology, v.47, n. 20, 2018; doi: 10.1259/dmfr.20180161.

NEJAIM, Y. et al. Efficacy of lead foil for reducing doses in the head and neck: a simulation study using digital intraoral systems. **Dentomaxillofacial Radiology**, v.44, n. 8, 2015; doi: 10.1259/dmfr.20150065.

OHIRA, A. et al. The effect of chewing exercise in preschool children on maximum bite force and masticatory performance. **International Journal of Paediatric Dentistry**, v. 22, n. 2, p. 146–153, 2012.

PEKER, I. et al. Apilot study of the effects of a vacuum sealing barrier method for photostimulable phosphor plates regarding plate damage and prevention of microbiologic cross-contamination. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology**, v. 126, n. 3, p. 283-290, 2018.

ROBERTS, M. W.; MOL, A. Clinical Techniques to Reduce Sensor. **Journal of Denistry for Children**, v. 71, p. 169–170, 2004.

ROVARIS, K. et al. Brazilian young dental practitioners' use and acceptance of digital radiographic examinations. **Imaging Science in Dentistry**, v. 46, n. 4, p. 239–244, 2016.

SONODA, M. et al. Computed radiography utilizing scanning laser stimulated luminescence. **Radiology**, v. 148, n. 3, p. 833–838, 1983.

TSUDA, N.; TANAK, N.; AKASAKA, T.; YABUUCHI, H.; MORISHITA, J. Dose reduction in general radiography for adult patients by use of a dual-side-reading photostimulable phosphor plate in a computed radiography system. **Radiological Physics and Technology**, v. 7, n.2, p. 310-315, 2014.

VANDENBERGHE, B. The digital patient – Imaging science in dentistry. **Journal of Dentistry**, v. 74, n. 1, p. S21–S26, 2018; doi.org/10.1016/j.jdent.2018.04.019.

WENZEL, A.; MØYSTAD, A. Work flow with digital intraoral radiography: A systematic review. **Acta Odontologica Scandinavica**, v. 68, n. 2, p.106-114, 2010.

WENZEL, A.; KORNUM, F.; KNUDSEN, M.R.; FRANDBEN LAU, E. Antimicrobial efficiency of ethanol and 2-propanol alcohols used on contaminated storage phosphor

plates and impact on durability of the plate. **Dentomaxillofacial Radiology**, v. 42, n. 6, 2013; doi: 10.1259/dmfr.20120353.

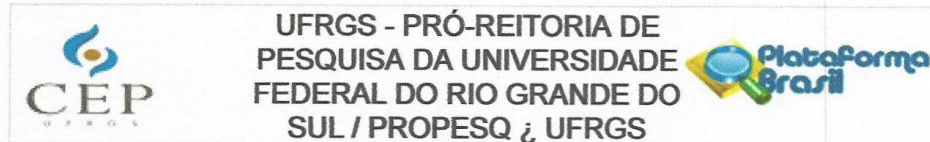
APÊNDICE A

Aprovação da Comissão de Pesquisa de Odontologia

Sistema Pesquisa - Pesquisador: Graziela De Moura				
Dados Gerais:				
Projeto Nº:	36846	Título:	DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM DISPOSITIVO PARA PROTECAO DE PLACA DE FOSFORO INTRABUCAL	
Área de conhecimento:	Radiologia Odontológica	Início:	29/03/2019	Previsão de conclusão: 29/03/2022
Situação:	Projeto em Andamento			
Origem:	Faculdade de Odontologia Programa de Pós-Graduação em Odontologia	Projeto Isolado		
Local de Realização:	não informado			
Não apresenta relação com Patrimônio Genético ou Conhecimento Tradicional Associado.				
Objetivo:	<p>A tecnologia digital vem gradualmente integrando-se aos serviços de saúde, contribuindo para uma mudança na forma de aquisição, armazenamento e visualização dos exames por imagem. O receptor de imagem digital possui a característica de ser reutilizável e necessitar de uma menor dose de radiação, para gerar uma imagem com qualidade tão boa quanto a do filme radiográfico convencional. Atualmente, os sistemas digitais de radiografia intrabucal são classificados em Diretos e Indiretos. No Sistema Indireto, utiliza-se como receptor de imagem a Photostimulable Phosphor Plate (PSP), conhecida como Placa de Fósforo. Esta placa é composta por uma base de polímero,</p>			
Palavras Chave:				
RADIOLOGIA DIGITAL, SISTEMA DIGITAL INDIRETO				
Equipe UFRGS:				
Nome: HERALDO LUIS DIAS DA SILVEIRA				
Coordenador - Início: 29/03/2019 Previsão de término: 29/03/2022				
Nome: GRAZIELA DE MOURA				
Outra: Aluno de Mestrado - Início: 29/03/2019 Previsão de término: 29/03/2022				
Nome: MARIANA BOESSIO VIZZOTTO				
Pesquisador - Início: 29/03/2019 Previsão de término: 29/03/2022				
Nome: NÁDIA ASSEIN ARUS				
Pesquisador - Início: 29/03/2019 Previsão de término: 29/03/2022				
Nome: Priscila Fernanda da Silveira Tiecher				
Pesquisador - Início: 29/03/2019 Previsão de término: 29/03/2022				
Avaliações:				
Comissão de Pesquisa de Odontologia - Aprovado em 16/04/2019 Clique aqui para visualizar o parecer				

APÊNDICE B

Aprovação do comitê de ética em pesquisa da UFRGS



Continuação do Parecer: 3.673.696

Fichas de coletas de dados: apresentados modelos das fichas a serem utilizadas em todas as etapas da pesquisa. Adequado.

Orçamento: os custos para condução da pesquisa são estimados em R\$ 2.155,00.

PENDÊNCIA 6 – Versão 1) Os custos devem ser de responsabilidade do pesquisador responsável, sem onerar os alunos envolvidos. Em acordo, os pesquisadores informaram na última versão do projeto que: “O pesquisador responsabilizar-se-á pela busca dos recursos para financiamento em agências de fomento, e não sendo contemplados arcará com as despesas.” PENDÊNCIA ATENDIDA.

Cronograma: o estudo é estimado a ser conduzido ao longo de 12 meses.

PENDÊNCIA 7 – Versão 1 e 3) Em vista do envio do projeto para análise junto ao CONEP, haja a indicação de área de temática especial, o cronograma encontra-se em desacordo.

Dessa forma, este Comitê informa que somente após o atendimento às questões acima e aprovação ética, o estudo pode ser iniciado.

RESPOSTA: O cronograma foi ajustado na PB, tendo início previsto para 02/12/2019. PENDÊNCIA ATENDIDA.

Recomendações:

Atentar para uso dos TCLEs anexados individualmente (aqueles inseridos no corpo do projeto constam versão anterior, com pendências).

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências foram atendidas, estando o projeto em acordo com as resoluções CNS no. 466/2012 e 510/2016. Pela aprovação.

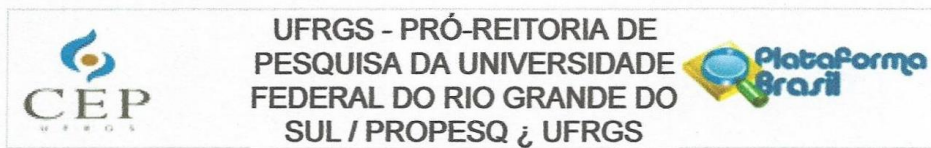
Considerações Finais a critério do CEP:

Aprovado.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_P ROJETO_1328030.pdf	30/10/2019 07:08:29		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto.pdf	30/10/2019 07:08:04	GRAZIELA DE MOURA	Aceito

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 321 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
 Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-060
 UF: RS Município: PORTO ALEGRE
 Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br



Continuação do Parecer: 3.673.696

Folha de Rosto	folhaderosto2.pdf	30/10/2019 07:05:16	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	ANEXO_F.pdf	21/10/2019 11:02:43	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	ANEXO_E.pdf	21/10/2019 11:00:27	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
Outros	Carta_resposta.pdf	26/08/2019 14:27:24	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	AnexoD.pdf	03/04/2019 16:11:04	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	AnexoA.pdf	03/04/2019 16:10:02	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	AnexoB.pdf	03/04/2019 16:09:48	GRAZIELA DE MOURA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	AnexoC.jpg	03/04/2019 16:09:26	GRAZIELA DE MOURA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

PORTO ALEGRE, 31 de Outubro de 2019

Assinado por:
MARIA DA GRAÇA CORSO DA MOTTA
 (Coordenador(a))

Endereço: Av. Paulo Gama, 110 - Sala 321 do Prédio Anexo 1 da Reitoria - Campus Centro
 Bairro: Farroupilha CEP: 90.040-060
 UF: RS Município: PORTO ALEGRE
 Telefone: (51)3308-3738 Fax: (51)3308-4085 E-mail: etica@propesq.ufrgs.br

APÊNDICE C

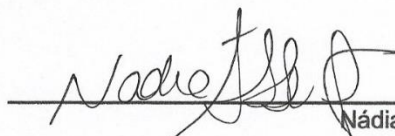
Autorização do Serviço de Radiologia

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIRURGIA E ORTOPEDIA**

AUTORIZAÇÃO

Eu, Nádía Assein Arús, concedo acesso ao Serviço de Radiologia da Faculdade de Odontologia da UFRGS e uso do aparelho de radiografia odontológica periapical - modelo Timex 70c (GNATUS, Brasil) aos pesquisadores do trabalho intitulado "Desenvolvimento e teste de um dispositivo para proteção de placa de fósforo intrabucal". Concluo enfatizando que fui informada pelo responsável do estudo sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas no departamento o qual represento.

Porto Alegre/ RS – 27 de março de 2019



Nádía Assein Arús

APÊNCIDE D

Autorização do Laboratório de Materiais Dentários

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIRURGIA E ORTOPEDIA**

AUTORIZAÇÃO

Eu, Fabrício Mezzomo Collares, concedo acesso ao Laboratório de Materiais Dentários (LAMAD) da UFRGS e uso da máquina de ensaios EZ Test EZ-SX (Shimadzu Scientific Instruments, Kyoto, Japão) aos pesquisadores do trabalho intitulado "Desenvolvimento e teste de um dispositivo para proteção de placa de fósforo intrabucal".

Concluo enfatizando que fui informado pelo responsável do estudo sobre as características e objetivos da pesquisa, bem como das atividades que serão realizadas no departamento o qual represento.

Porto Alegre/ RS – 27 de março de 2019



Fabrício Mezzomo Collares

APÊNDICE E

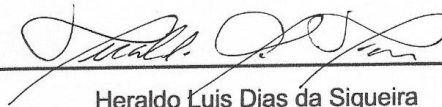
Termo de compromisso do pesquisador responsável

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE ODONTOLOGIA
DEPARTAMENTO DE CIRURGIA E ORTOPEDIA**

TERMO DE COMPROMISSO PESQUISADOR RESPONSÁVEL

Eu, Heraldo Luis Dias da Siqueira, pesquisador responsável deste projeto intitulado "Desenvolvimento e teste de um dispositivo para proteção de placa de fósforo intrabucal" comprometo-me a observar e cumprir as normas de Resolução 466/2012 do CNS em todas as fases da pesquisa.

Porto Alegre/RS – 27 de março de 2019



Heraldo Luis Dias da Siqueira