

## RESSALVA

Atendendo solicitação do (a) autor  
(a), o texto completo desta tese será  
disponibilizado a partir de

05/12/2020



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de São José dos Campos  
Instituto de Ciência e Tecnologia

**POLLYANNA NOGUEIRA FERREIRA DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE UM  
ESMALTE DENTÁRIO SUBMETIDO À RADIAÇÃO  
IONIZANTE E ENSAIO DE DESGASTE ANTAGONIZADOS  
POR UMA CERÂMICA HÍBRIDA**

2018

**POLLYANNA NOGUEIRA FERREIRA DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE UM ESMALTE  
DENTÁRIO SUBMETIDO À RADIAÇÃO IONIZANTE E ENSAIO DE  
DESGASTE ANTAGONIZADOS POR UMA CERÂMICA HÍBRIDA**

Tese apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR, pelo Programa de Pós-Graduação em ODONTOLOGIA RESTAURADORA.

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Desempenho de materiais reabilitadores protéticos.

Orientador: Prof. Adj. Rubens Nisie Tango

Coorientador: Pesq. Dr. Sílvio Manea

São José dos Campos

2018

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2019]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Silva, Pollyanna Nogueira Ferreira Da

Caracterização microestrutural de um esmalte dentário submetido à radiação ionizante e ensaio de desgaste antagonizados por uma cerâmica híbrida / Pollyanna Nogueira Ferreira Da Silva. - São José dos Campos : [s.n.], 2018. 123 f. : il.

Tese (Doutorado) - - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2018.

Orientador: Rubens Nisie Tango

Coorientador: Sílvio Manea

1. Cerâmica. 2. Radioterapia. 3. Desgaste dos dentes. 4. Dureza. 5. Difração de Raios X. I. Tango, Rubens Nisie, orient. II. Manea, Sílvio, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

## **BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Adj. Rubens Nisie Tango** (Orientador)

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

**Profa. Dra. Fernanda de Cássia Papaiz Gonçalves**

Universidade Braz Cubas (UBC)

Campus de Mogi das Cruzes

**Prof. Dr. João Paulo Barros Machado**

Instituto Nacional de Pesquisa Espacial (INPE)

Campus de São José dos Campos

**Prof. Tit. Estevão Tomomitsu Kimpara**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

**Prof. Adj. Lafayette Nogueira Júnior**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

São José dos Campos, 05 de dezembro de 2018.

## DEDICATÓRIA

A **DEUS**, meu Senhor e Salvador, pelo sopro da vida, sustento, amor e motivação para a conclusão deste trabalho. Obrigada, Senhor, por conduzir o meu caminho, por colocar pessoas para me ajudarem e me suportarem.

À minha mãe **Fátima Cristina Ferreira Nogueira**. Obrigada pelas noites mal dormidas, pelas idas e vindas da minha vida, apoio constante que me ajudou a lutar por este objetivo, mesmo tão longe e tão grande para mim. Este título também é seu, pois eu sempre brinco contigo dizendo que a senhora também fez este curso comigo e se não fosse você, eu não teria conseguido.

Ao meu pai **Pedro Nogueira da Silva**, meu guia e apoio incondicional. Reconheço que o senhor não mediu esforços financeiros e motivacionais para que eu pudesse realizar mais este sonho. Obrigada pelo seu exemplo de batalhador, de honestidade e fé que o senhor tem me passado. Este trabalho é uma extensão do seu legado na minha vida.

Ao meu irmão **Thiago Nogueira Ferreira**, por seu carinho e amor. Seu exemplo de companheirismo e respeito me ajudou a crescer. Obrigada, meu irmão!

Aos meus sobrinhos **Miguel e Melissa Luque Nogueira**, pelos seus sorrisos, seus carinhos e abraços. Embora vocês não entendam a vida, pois você vocês me ensinaram que a vida precisa ter mais intensidade e mais amor. Obrigada pelos momentos juntos de puro carinho. Eu te amo!

À minha cunhada **Priscila Paiva Luque Nogueira**, pela ajuda e motivação nos momentos de dificuldades. Obrigada por ter-me dado a oportunidade de ser tia.

Ao meu namorado **Marcos Antonio Mendes Campos**, pela ajuda, motivação e apoio nos momentos de dificuldades. Obrigada por ter sido meu esteio e suporte quando o mundo desmoronou e tudo parecia perdido.

Obrigada por estarem comigo! Eu amo vocês!

## AGRADECIMENTOS ESPECIAIS

A **DEUS** pela oportunidade de fazer este curso e aprender mais uma função.

Ao meu orientador, **Prof. Adj. Rubens Nisie Tango**, agradeço a oportunidade e pelo auxílio de vida.

Ao meu co-orientador, **Prof. Pesq. Silvio Manea**, agradeço a ajuda, a compreensão e os ensinamentos. Para ser conduzida à pós-graduação e ser desafiada por este trabalho que envolve áreas de conhecimentos diferentes da formação de um simples cirurgião-dentista. Nesse episódio, creio que Deus colocou você na minha vida para me ajudar e orientar. Obrigada pelo tempo dedicado e por viabilizar que este trabalho fosse concluído.

À **Empresa Chiarrotti**, que doou todos os pinos de Esteatita utilizados neste trabalho.

Ao **Prof. Nelson Lima e a Dra. Annelise Arata**, do IPEN-USP, agradeço a ajuda, a compreensão e os ensinamentos.



## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual Paulista, representada pelo diretor do Instituto de Ciência e Tecnologia, **Prof. Titular Estevão Tomomitsu Kimpara** e da Vice-Diretora, **Profa. Dra. Rebeca Di Nicoló**.

Ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora, Especialidade Prótese Dentária, coordenado pelo **Prof. Adj. Alexandre Luiz Souto Borges**, pela oportunidade concedida.

Ao **Prof. Titular Marco Antônio Bottino**, pela contribuição na minha formação acadêmica e científica.

Ao **Prof. Dr. Alberto Noriyuki Kojima** e ao **Prof. Adj. Lafayette Nogueira Júnior**, pela paciência e calma nos ensinamentos clínicos do dia-a-dia.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Odontologia Restauradora, pela contribuição na minha formação acadêmica e científica.

Aos Professores do Proex Sorriso Total, **Prof. Dr. Paula Komori e Prof. Tarcísio de Arruda**, pelos ensinamentos e convivência. Principalmente, ao Professor Tarcísio, que participou ativamente do meu crescimento profissional e contribuiu com a confecção desta tese.

Aos Professores do Projeto ONCO, **Prof. Dr. Maximiliano Neisser e Prof. Lúcio Murillo Santos**, pela convivência harmoniosa, momentos de descontração demasiadamente bons, amizade e confiança. Este projeto me tornou um ser-humano melhor.

Ao **Professor Odair Lelis Gonçalves**, do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), por ter-me recebido de maneira tão receptiva e pela ajuda para a conclusão deste trabalho.

Ao **Tenente Rafael Galhardo**, ao **Tenente Casagrande**, ao **Eng.**

**Felipe e Sílvio**, do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), por não terem medidos esforços para me ajudar com a parte prática da radiação ionizante, bem como pelas palavras de amizade e motivação. Meus sinceros agradecimentos.

Ao **Tenente Vítor Ribeiro**, do Instituto de Estudos Avançados (IEAv), pela ajuda com os testes de riscamento e nanodureza. Meus sinceros agradecimentos.

Ao **Dr. Tiago Moreira**, do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), pela ajuda na parte experimental e científica deste trabalho. Agradeço a atenção, amizade, parceria e conversas sobre a vida. Este trabalho não teria sido concluído sem a sua ajuda. Obrigada!

Ao **Professor João Paulo Barros Machado e Dra. Gislene Valdete Martins**, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), obrigada por ter me recebido de maneira especial, pelas palavras encorajadoras nos momentos difíceis e pelos conhecimentos transmitidos.

Aos **funcionários da biblioteca**, do Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP, por toda a atenção e correções necessárias.

Aos funcionários da seção de pós-graduação, **Rose, Ivan, Bruno, Sandra e Carol**, do Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP, pelas informações e serviços prestados.

Aos funcionários do departamento de Materiais Odontológicos e Prótese do Instituto de Ciência e Tecnologia – UNESP, **Juliane Damasceno**, pela inconfundível alegria; **Lilian Vilela**, pela amizade e pelas palavras motivacionais; **Fernando Pontes**, pela paciência, pelos preciosos ensinamentos, pela amizade e pelas boas conversas; **Marco Alfredo**, pela paciência e carinho. Muito obrigada por terem contribuído para o meu crescimento e tornar os meus dias mais felizes.

À **Profa Tit. Cristiane Yumi Koga-Ito**, pela amizade, por me apresentar a pesquisa quando era apenas uma aluna de graduação. Obrigada

pelos ensinamentos e amizade até hoje.

Ao **Dr Daniel Pereira**, pela amizade, por me mostrar como a vida pode ser divertida e sem deixar de ser responsável, por me ensinar a sorrir mesmo quando tudo está no caos e que tudo dá certo no fim.

Aos meus avós **Alaide Maria Ferreira e Antônio Ferreira**, pelas orações e entender minha ausência nas viagens de família. Vocês me ensinaram a ir mais longe do que eu imaginava e acreditaram em mim.

Aos meus tios e tias **Frassinetti, Suzana, Fábio, Flávio, Edna, Maria de Lourdes, Maria Helena, Helena Maria, Wilma, Maria Inês**, pela força e palavras de motivação.

À minha vó de consideração **Néia Pereira**, pelos conselhos, pela amizade e o carinho como se fosse minha avó. Obrigada!

Ao senhor **Walter de Castro Pereira**, pela amizade, oportunidades, respeito, cumplicidade e carinho! Obrigada por tudo que o senhor fez por mim!

Às minhas amigas **Isabelle, Jéssica, Thaís**, pela amizade, compreensão e auxílio na correria do dia-a-dia! Obrigada pelo suporte e tudo que vocês se dedicaram a mim!

Aos meus amigos da IECP, pelo carinho e compreensão da minha ausência nesse período.

Ao **Pr Auler**, pelo carinho, pelos conselhos e compreensão da correria do dia-a-dia. Obrigada!

Aos pastores **André, Wagner, Henrique, André Costa, Claudio, Marília, Suellen** pelas orações e palavras de motivação.

Aos meus amigos do ensino da ECBR **Jéssica, Jaislan, Priscila, Rafael, Larissa e Luiz Henrique**, pela amizade e companheirismo. Amigos são presentes de Deus.

Aos **Professores Silvana, Valdir dos Santos e Glaici Silva**, pelo ensino da vida e dos preceitos do bom caráter.

Aos meus amigos da turma do doutorado, **Nayara Barchetta**, disposta sempre a ajudar e escutar as minhas queixas. Obrigada! **Jaiane Monteiro**, ensinou-me a levar a vida de uma forma mais engraçada, rindo das situações adversas. Obrigada! **Jean Miranda**, ensinou-me a ver a vida mais leve e apresentou-me vários lugares da minha cidade que eu mesma não conhecia. Obrigada! **Tabata Sato**, pela amizade. Obrigada!

Aos meus amigos de outras turmas, **Marina Amaral**, **Aline Lins**, **Ronaldo Luís**, **Gabriela Freitas**, **Aline Barcellos**, **Fernanda Papaiz**, **Guilherme Andrade**, **Jéssica Dia Santos**, **Natália Gonçalves**, **Vanderberg Diniz**, **Gabriela Fernandes**, **Patrícia Contreras**, **Dayana Campanelli**, **Cristiane Inagati**, **Leonardo Kamezawa**, pelos momentos especiais de conversa prolongada, longos cafés e rodízios e viagens juntos. Vocês me cativaram e surpreenderam com a amizade e palavras de conforto. Obrigada!

Aos demais colegas do Programa de Pós-Graduação, **Amanda**, **Ana Carolina**, **Anna Karina**, **Carolina Martinelli**, **Caroline Cottes**, **Dominique**, **Eliseo**, **Fernanda Campos**, **Jefferson David**, **João Paulo**, **Júlio Luz**, **Lilian Anami**, **Manassés**, **Nathália Ramos**, **Hilton Riquiere**, **Sâmia Mota**, **Sarina Maciel**, **Pedro Padro**, pelos momentos compartilhados.

Aos alunos **Andresa Gaspar Nelo**, **Rafael Marques**, **Juliana Amalfi**, **Beatriz Garbelini**, **Natália de Carvalho**, **Tamires Donatto**, que participaram da minha formação. Obrigada pela convivência e amizade. Vocês me ensinaram que precisamos de outras pessoas também. Obrigada!

Aos técnicos do laboratório de materiais dentários, **Marcos Vestali** (*in memoriam*), nesse dia tão especial para mim, gostaria tanto de dividi-lo com você, mas Deus te recolheu antes, até mais meu amigo; **Thaís Cachuté Paradella**, pela disposição e ajuda em todos os momentos e pela amizade desenvolvida ao longo destes anos, quero te ter presente na minha vida pelo resto da vida; **Márcio Eduardo**, pela disposição e ajuda em todos os momentos,

principalmente com a cicladora slidding.

Aos meus amigos do CCM-ITA, **Rafaella, Amanda, Jéssica Cristina, Wesley, Leonardo Miranda, Givan**, pelos momentos especiais de conversa prolongadas, churrascos e pela amizade. Vocês me cativaram e surpreenderam com a amizade sincera e acolhedora. Obrigada!

À **Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES)**, pelo apoio financeiro concedido em todos os anos do doutorado.

Obrigada a todos!

*“Peça à Deus que abençoe os seus planos, e eles darão certo”*

*Provérbios de Salomão, 16:3*

*“Humilhai-vos, portanto, sob a poderosa mão de Deus para que Ele, em tempo oportuno, vos exalte, lançando sobre Ele toda a vossa ansiedade, porque Ele tem cuidado de vós.”*

*1 Pedro 5:6-7*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Conceito de radiação ionizante .....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1 Interação da radiação ionizante com o esmalte dentário humano .....</b>	<b>24</b>
<b>2.1.2 Interação entre radiação ionizante e materiais restauradores .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Cerâmica Enamic .....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.1 Teste de Desgaste Fisiológico Simulado .....</b>	<b>31</b>
<b>3 PROPOSIÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1 Análise dos espécimes cerâmicos .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.1 Confeção das amostras cerâmicas.....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.2 Exposição à radiação ionizante dos espécimes cerâmicos .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1.3 Avaliação de resistência à flexão biaxial .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1.4 Dureza e módulo de elasticidade da cerâmica híbrida .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.5 Análise de FT-IR dos espécimes cerâmicos .....</b>	<b>41</b>
<b>4.2 Análise dos dentes.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.1 Obtenção dos dentes.....</b>	<b>41</b>
<b>4.2.2 Confeção das amostras.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2.3 Exposição à radiação ionizante dos dentes .....</b>	<b>43</b>
<b>4.2.4 Análise de FT-IR dos dentes.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.5 Análise por DR-X dos dentes .....</b>	<b>44</b>
<b>4.2.6 Dureza e módulo de elasticidade.....</b>	<b>47</b>

<b>4.2.7 Teste de riscamento .....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.8 Simulação de desgaste Fisiológico.....</b>	<b>48</b>
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Análise da Cerâmica Enamic .....</b>	<b>54</b>
<b>5.1.1 Resistência à flexão biaxial.....</b>	<b>55</b>
<b>5.1.2 Resultados de Dureza e Módulo elástico da cerâmica híbrida .....</b>	<b>55</b>
<b>5.1.3 Análise de FT-IR da cerâmica ENAMIC.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2 Análise dos dentes.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2.1 Análise de FT-IR do esmalte dentário.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2.2 Análise de DR-X do esmalte dentário.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2.3 Resultados de Dureza e Módulo Elástico .....</b>	<b>68</b>
<b>5.2.4 Resultados do Teste de Riscamento.....</b>	<b>71</b>
<b>5.2.5 Resultados da Simulação do Desgaste Fisiológico.....</b>	<b>82</b>
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>6.1 Discussão da metodologia da radioterapia .....</b>	<b>94</b>
<b>6.2 Discussão do efeito da radiação ionizante na cerâmica híbrida .....</b>	<b>95</b>
<b>6.3 Discussão do efeito da radiação ionizante no esmalte dentário .....</b>	<b>97</b>
<b>6.4 Discussão sobre os resultados do ensaio de desgaste simulado.....</b>	<b>101</b>
<b>7 CONCLUSÃO .....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>117</b>



Silva PNF. Caracterização microestrutural de um esmalte dentário submetido à radiação ionizante e ensaio de desgaste antagonizados por uma cerâmica híbrida. [tese]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2018.

## RESUMO

A radioterapia de cabeça e pescoço pode alterar e causar danos à estrutura dentária. Anteriormente a radioterapia, estes pacientes devem passar por consultas e tratamento odontológico orais, sugerindo a cerâmica híbrida como escolha para reabilitações orais, uma vez que esta cerâmica apresenta a característica de menor desgaste do dente. O presente estudo objetivou avaliar o efeito de diferentes doses de radiação ionizante sobre: o comportamento mecânico e estrutural da cerâmica híbrida; as propriedades mecânicas e químicas do esmalte dentário; o desempenho do esmalte dentário irradiado e dois materiais antagonistas distintos (Enamic e Esteatita). Para isto, discos de Enamic e os fragmentos dentais foram submetidos às doses diárias de 2 Gy; totalizando as doses: 0, 20, 40 e 70 Gy (esmalte e Enamic), e, 50 Gy e 60 Gy (esmalte). Após a radiação, as cerâmicas foram analisadas mecanicamente pelos testes de: dureza e flexão biaxial, e, quimicamente pelo FT-IR. Enquanto, os fragmentos de dentes (n = 60) foram observados: a degradação estrutural por FT-IR e DR-X (n=5), a nanodureza e módulo elástico (n = 10), teste de riscamento (n = 3) e desgaste antagonizados por Enamic e Esteatita (n = 10). Os dados foram submetidos aos testes ANOVA (1 e 2 fatores) e Tukey. Mediante os resultados observados, conclui-se que a radiação ionizante não alterou as propriedades da cerâmica híbrida e as propriedades cristalinas do esmalte dentário, porém, alterou a dureza, o módulo elástico, a resistência ao riscamento, a composição química (degradação do colágeno) e desgaste do esmalte dentário.

Palavras-chave: Cerâmica. Radioterapia. Dureza. Desgaste dos dentes. Difração de Raios X.

*Silva PNF. Microstructural characterization of a gamma irradiated dental enamel and wear performance antagonized by a hybrid ceramic. [doctorate thesis]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2018.*

## **ABSTRACT**

*The head and neck radiotherapy treatment can change and damage the dental structure. Before the radiotherapy treatment, the patients should have a dental consultation and to submit to dentistry treatments, suggesting the hybrid ceramics material are suggested as the choice to oral rehabilitations, for this material shows the characteristic of less damage of the tooth. This study aimed to evaluate the effects of different doses of gamma irradiation on: mechanical and structural behavior of hybrid ceramics; mechanical and chemical properties of dental enamel; the wear performance of irradiated dental enamel and two distinct antagonist materials (Enamic and Steatite). For that, Enamic discs (ISO 6872) and dental fragments were submitted to daily irradiation doses of 2 Gy; about the doses adding up to: 0, 20, 40 and 70 Gy (enamel and Enamic), and, 50 Gy and 60 Gy (enamel only). Then Following that procedure, ceramics were analyzed for: hardness (n = 4), biaxial flexural (n = 10) and chemically by FT-IR (n = 2). While In the meantime, 60 fragments of third molars were observed about: structural degradation by FT-IR and DR-X (n = 5), nano hardness and elastic modulus (n = 10), scratch test (n = 3), chewing simulator test antagonized by: Enamic and steatite (n = 10). The data were submitted to ANOVA- 1Way, and ANOVA-Two Way and Tukey's Test. It is This study concluded that: gamma irradiation did not affect the properties of the hybrid ceramics and the crystalline properties of the dental enamel; however, composition and mechanical properties were affected, such as: hardness, elastic modulus, scratch resistance, chemical composition (collagen degradation) and tooth enamel wear.*

*Keywords: Ceramics. Radiotherapy. Hardness. Two-Body wear. X-ray diffraction.*

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a terceira doença mais incidente na cavidade oral é o câncer bucal (Heilmann et al., 2015) e este tipo de neoplasia é a oitava mais comum mundialmente, apresentando incidência que variam de 1 a 10 casos para 100.000 habitantes em vários países ao redor do mundo (Petersen, 2009) e aproximadamente 300.000 novos casos surgem a cada ano no mundo (Ferlay et al., 2015). Estima-se que no Brasil, de acordo com o Instituto Nacional do Câncer, em 2018, cerca de 14.700 novos casos sejam relatados, sendo 11.200 em homens e 3.500 em mulheres relacionados ao câncer bucal. Índices evidenciam que este é o quarto tipo de neoplasia maligna mais frequente nas regiões Sudeste para homens (Instituto Nacional do Câncer, 2018).

Os tratamentos indicados para estes pacientes oncológicos são: cirurgia, radioterapia e quimioterapia (Barrios et al., 2013). Embora, o método cirúrgico seja o mais comum e difundido no meio dos cirurgiões de cabeça e pescoço, o tratamento à base de quimioterapia e radioterapia têm se destacado, devido a maior preservação de estruturas anatômicas e também usada para complementar a técnica cirúrgica (Shah et al., 2009; Huang, O'Sullivan, 2013; Klein et al., 2014).

A radioterapia tem sido largamente utilizada, por apresentar inúmeras possibilidades de regressão da doença, diminuição do volume tumoral, prevenção de possíveis reincidências tumorais e metástases, até mesmo cura total do câncer (Eriksson et al., 2010). O seu mecanismo de ação baseia-se na utilização de um tipo de radiação ionizante (radiação X, radiação  $\text{X}$ ) com a intuito de: interagir com o DNA celular da célula cancerígena, ocasionando a morte celular (apoptose), como consequência a redução do volume tumoral; ou produzir a radiólise da água gerando novas ligações químicas tóxicas às células

(Eriksson et al., 2010; Okuno, 2013).

Essas diversas oportunidades de melhoria do quadro clínico do paciente oncológico ditam os procedimentos radioterápicos prescritos, por exemplo, na intervenção curativa de neoplasias malignas de cabeça e pescoço. Nestes casos é comum encontrar protocolos clínicos que indicam a aplicação de doses fracionadas de radiação gama de 2 Grays (Gy) por dia, durante 5 dias por semana, numa conduta de aproximadamente 7 semanas, totalizando a dose absorvida de 50-70 Gy, enquanto em tratamentos pré-operatórios utiliza-se de 45 Gy e pós-operatório 55-60 Gy (Tsuji II, 1985; Kielbassa et al., 2006; Eriksson et al., 2010; Wang et al., 2016).

Embora o tratamento com radioterapia tenha diversas vantagens, apresenta inúmeras consequências decorrentes da terapia como: a osteorradionecrose, xerostomia, a mucosite devido à irradiação refletida e as alterações ocorridas na estrutura dentária: cárie de radiação e vulnerabilidade a desmineralização dentária (Epstein et al., 2012; Jawad et al., 2015; Köstler et al., 2001).

As alterações ocorridas nas estruturas dentárias são evidentes, demonstrando os comprometimentos dos componentes constituintes do órgão dentário decorrentes da submissão à radioterapia. Entre eles, pode citar: a diminuição da resistência ao riscamento do esmalte dentário (Qinp et al., 2015; Reed et al., 2015), diminuição da relação carbonato e fosfato (Qinp et al., 2015; Ferreira et al., 2016), diminuição da cristalinidade e tamanho dos prismas de esmalte (Qinp et al., 2015; Reed et al., 2015), aumento dos espaços interprismáticos do esmalte (Madrid et al., 2017), diminuição da microdureza do esmalte (Qinp et al., 2015; Barros da Cunha et al., 2017), a diminuição da resistência ao cisalhamento da junção amelo-dentinária (Pioch et al., 1992), diminuição da resistência à microtração da união amelo-dentinária independentemente das direções do prismas de esmalte (Soares et al., 2010;

Qinp et al., 2015), alteração nos prolongamentos dos odontoblastos da dentina (Grötz et al., 1997), diminuição da resistência à adesão da dentina e restaurações (Soares et al., 2010; Soares et al., 2011; Naves et al., 2012), diminuição microdureza e da cristalinidade da dentina (Qinp et al., 2016), morte celular por radiação ionizante do tecido conjuntivo da polpa (Springer et al., 2005).

Devido todas estas alterações no dente humano quanto submetido à radiação ionizante, verifica-se que o esmalte dentário sofre degradações, infere-se que seja devido à sua composição: uma matriz orgânica constituída por água e proteínas (amelogenina, ameloblastina e enamelina) (Nanci, 2008). No entanto, em nenhum dos estudos encontrados foi observado outros parâmetros tais como: perda de volume, rugosidade, simulação de desgaste fisiológico em dentes irradiados. Embora, estudos laboratoriais tenham simulado o desgaste de dentes humanos frente à diferentes tipos de resina e até um análogo ao esmalte dental (Ghazal et al., 2008; Zheng et al., 2016), não foram encontrados estudos que relatassem o desgaste do esmalte dental exposto à radiação ionizante.

Em função das alterações expostas, pode-se afirmar que o desafio reabilitador desses pacientes seja complexo e necessite de estudos aprofundados, pois há alterações sofridas na estrutura dentária. (Epstein et al., 2012; Jawad et al., 2015; Köstler et al., 2001). Portanto, deve-se observar os materiais restauradores a serem utilizados no planejamento clínico deste grupo de pacientes. Entre os materiais presentes no mercado, Chin e colaboradores, em 2009, indicaram as cerâmicas livres de metal, pois, além de apresentarem propriedades ópticas adequadas, as cerâmicas apresentam a capacidade de minimizar o espalhamento da irradiação ionizante, resultante do tratamento radioterápico, quando comparadas aos sistemas que apresentam metal em sua composição, diminuindo assim a incidência de mucosite secundária pela reflexão da radiação (Chin et al., 2009).

Entre estas cerâmicas livres de metal, destacam-se as cerâmicas híbridas

que foram inseridas recentemente no mercado odontológico. As cerâmicas híbridas são materiais que mesclam as características de uma cerâmica feldspática com um material polimérico, com intuito de diminuir as propagações de trincas, pois a trinca necessita desviar do material polimérico para propagar-se (Coldea et al., 2013; Della Bona et al., 2014).

A Vita Enamic (Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha) tem sido apontada como representante desta classe de cerâmicas. A Enamic é constituída por 86% de uma matriz inorgânica de cerâmica feldspática infiltrada por 14% de uma rede interpenetrante contínua polimérica (Ramos et al., 2016; Leung et al., 2015).

Esta cerâmica apresenta como vantagens: propriedades mecânicas próxima ao elemento dental, tais como o módulo elástico e a dureza Vickers (Coldea et al., 2013; He et al., 2011 a, b). Com estas propriedades, afirma-se que esta possui uma baixa capacidade de desgaste do dente humano quando comparados a outros sistemas cerâmicos (Lawson et al., 2016). Diante do exposto, sugere-se que o uso deste tipo de cerâmica híbrida possa ser indicado para reabilitação de pacientes submetidos à tratamentos radioterápicos, já que as estruturas dentárias são influenciadas negativamente pela radiação ionizante. Entretanto, não há estudos na literatura que avaliem o desgaste dos dentes irradiados antagonizados por uma cerâmica híbrida, bem como, a caracterização e comportamento mecânico desta cerâmica quando submetido à radiação ionizante.

## 7 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que:

- As diferentes doses de radiação ionizante não modificaram as propriedades da cerâmica híbrida.
- A exposição à radiação ionizante de forma terapêutica diminui a dureza e modificou o módulo de elasticidade do esmalte dentário.
- A resistência ao riscamento foi alterada com o aumento da radiação ionizante, principalmente nos grupos 60 Gy e 70 Gy.
- Os grupos submetidos à radiação ionizante sofreram degradação química e modificação da proporção carbonato/ fosfato.
- A cristalinidade, tamanho de cristalito e fator de forma não foram modificados pela radiação ionizante.
- As doses 60 Gy e 70 Gy apresentaram maiores volumes perdidos após o desgaste.
- A esteatita desgastou mais o antagonista do que a Enamic.
- A cerâmica Enamic apresentou menor resistência ao desgaste.

## REFERÊNCIAS\*

- Angker L, Swain MV. Nanoindentation: application to dental hard tissue investigations. *J Mater Res* 2006 Aug;21(8):1893-905. doi:10.1557/jmr.2006.0257.
- Bahreyni Toossi MT, Ghorbani M, Akbari F, Mehrpouyan M, Sobhkhiz Sabet L. Evaluation of the effect of tooth and dental restoration material on electron dose distribution and production of photon contamination in electron beam radiotherapy. *Australas Phys Eng Sci Med*. 2016;39(1):113-22. doi: 10.1007/s13246-015-0404-z. PMID: 26581762.
- Bai Y, Zhao J, Si W, Wang X. Two-body wear performance of dental colored zirconia after different surface treatments. *J Prosthet Dent*. 2016 Oct;116(4):584-90. doi: 10.1016/j.prosdent.2016.02.006.
- Bailiff IK, Correcher V, Delgado A, Goksu Y, Hubner S. Luminescence characteristics of dental ceramics for retrospective dosimetry: a preliminary study. *Radiat Prot Dosimetry*. 2002;101(1-4):519-24. PMID: 12382804.
- Barrios R, Montero J, Gonzalez-Moles MA, Baca P, Bravo M. Levels of scientific evidence of the quality of life in patients treated for oral cancer. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2013 Jul;18(4):e578-84. PMID: 23722141.
- Beech N, Robinson S, Porceddu S, Batstone M. Dental management of patients irradiated for head and neck cancer. *Aust Dent J*. 2014 Mar;59(1):20-8. doi: 10.1111/adj.12134. PMID: 24495127.
- Bowes JH, Murray MM. The chemical composition of teeth: The composition of human enamel and dentine. *Biochem J*. 1935 Dec;29(12):2721-7. PMID: 16745959.
- Bottino MA, Campos F, Ramos NC, Rippe MP, Valandro LF, Melo RM. Inlays made from a hybrid material: adaptation and bond strengths. *Oper Dent*. 2015 May-Jun;40(3):E83-91. doi: 10.2341/13-343-L. PMID: 25405903.
- Brasil. Ministério da Saúde. Manual de Bases Técnicas da Oncologia–SIA/SUS Sistema de Informações Ambulatoriais. Brasília: MS. SAS/DRAC/CGSI, 2015.
- Bull SJ. Failure mode maps in the thin film scratch adhesion test. *Tribo Intern*. 1997 July;30(7):491-8. doi:10.1016/S0301-679X(97)00012-1.

\* Baseado em: International Committee of Medical Journal Editors Uniform Requirements for Manuscripts Submitted to Biomedical journals: Sample References [Internet]. Bethesda: US NLM; c2003 [atualizado 04 nov 2015; acesso em 25 jan 2017]. U.S. National Library of Medicine; [about 6 p.]. Disponível em: [http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform\\_requirements.html](http://www.nlm.nih.gov/bsd/uniform_requirements.html)



Caldas LR. Bases radiobiológicas. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência Médica. Divisão Nacional de Cancer; 1970.

Catelan A, Padilha AC, Salzedas LM, Coclete GA, Santos PH. Effect of radiotherapy on the radiopacity and flexural strength of a composite resin. *Acta Odontol Latinoam*. 2008;21(2):159-62. PMID: 19177853.

Chin DW, Treister N, Friedland B, Cormack RA, Tishler RB, Makrigiorgos GM, et al. Effect of dental restorations and prostheses on radiotherapy dose distribution: a Monte Carlo study. *J Appl Clin Med Phys*. 2009 Feb;10(1):2853. PMID: 19223833.

Choi JW, Song EJ, Shin JH, Jeong TS, Huh JB. In Vitro Investigation of Wear of CAD/CAM Polymeric Materials Against Primary Teeth. *Materials (Basel)*. 2017 Dec 9;10(12). pii: E1410. doi: 10.3390/ma10121410. PMID: 29232849.

Coldea A, Swain MV, Thiel N. Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dent Mater*. 2013 Apr;29(4):419-26. doi: 10.1016/j.dental.2013.01.002. PMID: 23410552.

Controle do Câncer: uma proposta de integração ensino-serviço. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro: Pro-Onco. 1993.

Dal Piva AMO, Tribst JPM, Souza ROAE, Borges ALS. Influence of Alveolar Bone Loss and Cement Layer Thickness on the Biomechanical Behavior of Endodontically Treated Maxillary Incisors: A 3-dimensional Finite Element Analysis. *J Endod*. 2017 May;43(5):791-5. doi: 10.1016/j.joen.2016.11.020. PMID: 28343925.

de Araujo AM, Gomes CC, de Almeida SM, Klamt CB, Novaes PD. Effect of radiotherapy on the eruption rate and morphology of the odontogenic region of rat incisors. *Arch Oral Biol*. 2014;59(11):1242-1248. doi: 10.1016/j.archoralbio.2014.07.004. PMID: 25129812.

de Barros da Cunha SR, Fonseca FP, Ramos PAMM, Haddad CMK, Fregnani ER, Aranha ACC. Effects of different radiation doses on the microhardness, superficial morphology, and mineral components of human enamel. *Arch Oral Biol*. 2017 Aug;80:130-135. doi: 10.1016/j.archoralbio.2017.04.007. PMID: 28414987.

de Sá Ferreira EM, Soares LE, Antunes HS, Uemura ST, da Silva Barbosa P, Salmon HA Jr, et al. Effect of therapeutic doses of radiotherapy on the organic and inorganic contents of the deciduous enamel: an in vitro study. *Clin Oral Investig*. 2016 Nov;20(8):1953-61. doi: 10.1007/s00784-015-1686-y. PMID: 26689568.

Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater*. 2014, 30(5):564-9. doi: 10.1016/j.dental.2014.02.019. PMID: 24656471.

Dietrich A, Heimann RB, Willmann G. The colour of medical-grade zirconia (Y-TZP). *J Mater Sci Mater Med*. 1996;7(9):559-65. doi: 10.1007/BF00122179.

Dobroś K, Hajto-Bryk J, Wróblewska M, Zarzecka J. Radiation-induced caries as the late effect of radiation therapy in the head and neck region. *Contemp Oncol (Pozn)*. 2016;20(4):287-90. doi: 10.5114/wo.2015.54081. PMID: 27688724.

Elbatal HA, Mandouh Z, Zayed H, Marzouk SY, Elkomy G, Hosny A. Gamma ray interactions with undoped and CuO-doped lithium disilicate glasses. *Physica B-Condensed Matter*. 2010;405(23):4755-62. doi:10.1016/j.physb.2010.08.071.

Epstein JB, Thariat J, Bensadoun RJ, Barasch A, Murphy BA, Kolnick L, et al. Oral complications of cancer and cancer therapy: from cancer treatment to survivorship. *CA Cancer J Clin*. 2012b;62(6):400-22. doi: 10.3322/caac.21157. PMID: 22972543.

Epstein JB, Guneri P, Boyacioglu H, Abt E. The limitations of the clinical oral examination in detecting dysplastic oral lesions and oral squamous cell carcinoma. *J Am Dent Assoc*. 2012a;143(12):1332-42. PMID: 23204089.

Eriksson D, Stigbrand T. Radiation-induced cell death mechanisms. *Tumour Biol*. 2010;31(4):363-72. doi: 10.1007/s13277-010-0042-8. PMID: 20490962.

Farahani M, Eichmiller FC, McLaughlin WL. Measurement of absorbed doses near metal and dental material interfaces irradiated by x- and gamma-ray therapy beams. *Phys Med Biol*. 1990 Mar;35(3):369-85. PMID: 2320667.

Farhood B, Samadian H, Ghorbani M, Zakariaee SS, Knaup C. Physical, dosimetric and clinical aspects and delivery systems in neutron capture therapy. *Rep Pract Oncol Radiother*. 2018;23(5):462-73. doi: 10.1016/j.rpor.2018.07.002. PMID: 30263016.

Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer*. 2015 Mar 1;136(5):E359-86. doi: 10.1002/ijc.29210. PMID: 25220842.

Ghazal M, Yang B, Ludwig K, Kern M. Two-body wear of resin and ceramic denture teeth in comparison to human enamel. *Dent Mater*. 2008 Apr;24(4):502-7. doi: 10.1016/j.dental.2007.04.012. PMID: 17688934.

Gonçalves LM, Palma-Dibb RG, Paula-Silva FW, Oliveira HF, Nelson-Filho P, Silva LA, et al. Radiation therapy alters microhardness and microstructure of enamel and dentin of permanent human teeth. *J Dent*. 2014 Aug;42(8):986-92. doi: 10.1016/j.jdent.2014.05.011. PMID: 24887361.

Grötz KA, Duschner H, Kutzner J, Thelen M, Wagner W. New evidence for the etiology of so-called radiation caries. Proof for directed radiogenic damage on the enamel dentin junction. *Strahlenther Onkol*. 1997; 173(12):668-76. PMID: 9454351.

Hahnel S, Schultz S, Trempler C, Ach B, Handel G, Rosentritt M. Two-body wear of dental restorative materials. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2011 Apr;4(3):237-44. doi: 10.1016/j.jmbbm.2010.06.001. PMID: 21316610.

He LH, Purton D, Swain M. A novel polymer infiltrated ceramic for dental simulation. *J Mater Sci Mater Med*. 2011; 22(7):1639-43. doi: 10.1007/s10856-011-4350-3. PMID: 21614593.

He LH, Swain M. A novel polymer infiltrated ceramic dental material. *Dent Mater*. 2011; 27(6):527-34. doi: 10.1016/j.dental.2011.02.002. PMID: 21371744.

Heilmann A, Tsakos G, Watt RG. Oral Health Over the Life Course. In: Burton-Jeangros C, Cullati S, Sacker A, Blane D, editors. *A Life Course Perspective on Health Trajectories and Transitions*. Cham (CH): Springer; 2015. Cap 3.

Hobbs LW, Clinard Jr FW, Zinkle SJ, Ewing RC. Radiation effects in ceramics. *J Nucl Mater*. 1994; 216: 291-321. doi:10.1016/0022-3115(94)90017-5.

Huang SH, O'Sullivan B. Oral cancer: Current role of radiotherapy and chemotherapy. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 2013 Mar; 18(2): 233–240. PMID: 23385513.

Huang W, Zalnezhad E, Farayi Musharavati, Jahanshahic P. Investigation of the tribological and biomechanical properties of CrAlTiN and CrN/NbN coatings on SST 304. *Ceram Int* 2017 Aug; 43(11):7992-8003. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.03.081.

Hubner W, Blume A, Pushnjakova R, Dekhtyar Y, Hein HJ. The influence of X-ray radiation on the mineral/organic matrix interaction of bone tissue: an FT-IR microscopic investigation. *Int J Artif Organs*. 2005; 28(1):66–73. PMID:15742312.

Instituto Nacional de Câncer. Estimativa 2018: incidência de câncer no Brasil / Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva – Rio de Janeiro: INCA, 2017.

Jawad H, Hodson NA, Nixon PJ. A review of dental treatment of head and neck cancer patients, before, during and after radiotherapy: part 1. *Br Dent J*. 2015 Jan;218(2):65-8. doi: 10.1038/sj.bdj.2015.28. PMID: 25613260.

Kewekordes T, Wille S, Kern M. Wear of polyetherketoneketones - Influence of titanium dioxide content and antagonistic material. *Dent Mater*. 2018 Mar;34(3):560-7. doi: 10.1016/j.dental.2017.12.009. PMID: 29373134.

Kielbassa AM, Hinkelbein W, Hellwig E, Meyer-Lückel H. Radiation-related damage to dentition. *Lancet Oncol*. 2006 Apr;7(4):326-35. Review. doi: 10.1016/S1470-2045(06)70658-1. PMID: 16574548.

Klein J, Livergant J, Ringash J. Health related quality of life in head and neck cancer treated with radiation therapy with or without chemotherapy: A systematic review. *Oral Oncol*. 2014 Apr;50:254-62. doi: 10.1016/j.oraloncology.2014.01.015. PMID: 24559650.

Köstler WJ, Hejna M, Wenzel C, Zielinski CC. Oral mucositis complicating chemotherapy and/or radiotherapy: options for prevention and treatment. *CA Cancer J Clin*. 2001 Sep-Oct;51(5):290-315. PMID: 11577493.

Lambrechts P, Debels E, Van Landuyt K, Peumans M, Van Meerbeek B. How to simulate wear? Overview of existing methods. *Dent Mater*. 2006 Aug;22(8):693-701. doi:10.1016/j.dental.2006.02.004. PMID: 16712913.

Lawson NC, Bansal R, Burgess JO. Wear, strength, modulus and hardness of CAD/CAM restorative materials. *Dent Mater*. 2016 Nov;32(11):e275-e283. doi: 10.1016/j.dental.2016.08.222. PMID: 27639808.

Leung BT, Tsoi JK, Matinlinna JP, Pow EH. Comparison of mechanical properties of three machinable ceramics with an experimental fluorophlogopite glass ceramic. *J Prosthet Dent.* 2015 Sep;114(3):440-6. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.02.024. PMID: 26013069.

Lowater F, Murray MM. Chemical composition of teeth: Spectrographic analysis. *Biochem J.* 1937 May; 31(5): 837–41. PMID: 16746405.

Ludovichetti FS, Trindade FZ, Werner A, Kleverlaan CJ, Fonseca RG. Wear resistance and abrasiveness of CAD-CAM monolithic materials. *J Prosthet Dent.* 2018 Aug;120(2):318.e1-318.e8. doi: 10.1016/j.prosdent.2018.05.011. PMID: 30097264.

Madrid CC, de Pauli Paglioni M, Line SR, Vasconcelos KG, Brandão TB, Lopes MA, et al. Structural Analysis of Enamel in Teeth from Head-and-Neck Cancer Patients Who Underwent Radiotherapy. *Caries Res.* 2017 Jan 26;51(2):119-28. doi: 10.1159/000452866. PMID: 28122368.

Mandikos MN, McGivney GP, Davis E, Bush PJ, Carter JM. A comparison of the wear resistance and hardness of indirect composite resins. *J Prosthet Dent.* 2001 Apr;85(4):386-95. doi: 10.1067/mpr.2001.114267. PMID: 11319537.

McGuire JD, Gorski JP, Dusevich V, Wang Y, Walker MP. Type IV collagen is a novel DEJ biomarker that is reduced by radiotherapy. *J Dent Res.* 2014 Oct;93(10):1028-34. doi: 10.1177/0022034514548221. PMID: 25146181.

Mellara TS, Palma-Dibb RG, Oliveira HF, Garcia Paula-Silva FW, Nelson-Filho P, da Silva RA, et al. The effect of radiation therapy on the mechanical and morphological properties of the enamel and dentin of deciduous teeth--an in vitro study. *Radiat Oncol.* 2014 Jan 22;9:30. doi: 10.1186/1748-717X-9-30. PMID: 24450404.

Meldrum A, Boatner LA, Ewing RC. Size effects in the irradiation-induced crystalline-to-amorphous transformation. *Nucl Instrum Meth.* 2003 May; 207(1):28-35. doi: 10.1016/S0168-583X(03)00519-6.

Mörmann WH, Stawarczyk B, Ender A, Sener B, Attin T, Mehl A. Wear characteristics of current aesthetic dental restorative CAD/CAM materials: two-body wear, gloss retention, roughness and Martens hardness. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2013 Apr;20:113-25. doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.01.003. PMID: 23455168.

Nanci A. Ten Cate's Oral Histology. 7. ed. Saint. Louis: Elsevier Mosby; 2008.

Naves LZ, Novais VR, Armstrong SR, Correr-Sobrinho L, Soares CJ. Effect of gamma radiation on bonding to human enamel and dentin. *Support Care Cancer*. 2012 Nov;20:2873–8. doi: 10.1007/s00520-012-1414-y. PMID: 22415607.

Novais VR, Junior PCS, Rodrigues RB, Roscoe MG, Valdivia ADCM, Soares CJ. Effect of irradiation on the mechanical behavior of restorative materials. *Rev Odontol Bras Central* 2015;24(68):44-8.

Nayyer M, Zahid S, Hassan SH, Mian SA, Mehmood S, Khan H, et al. Comparative abrasive wear resistance and surface analysis of dental resin-based materials. *Eur J Dent*. 2018 Jan-Mar;12(1):57-66. doi: 10.4103/ejd.ejd\_380\_17. PMID: 29657526.

Oliver WC, Pharr GM. An improved technique for determining hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. *J Mater Res*. 1992 Jun; 7(6):1564–83. doi:10.1557/JMR.1992.1564.

Okuno E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia. *Estud Av*. 2013 Jan-abril;27(77):187-99.

Pells G. Radiation Effects in Ceramics. *MRS Bulletin* 1997; 22(4):22-8. doi:10.1557/S0883769400032991.

Pereira MA, Gonçalves OL, Oliveira WA. (Instituto de Estudos Avançados, IEAv). Mapeamento e Calibração do Campo de Radiação da Fonte de Cobalto-60 no Irradiador Eldorado 78. São José dos Campos (SP): IEAv; 2008. Relatório Técnico RT/PEICE-06/2008.

Petersen PE. Oral cancer prevention and control – The approach of the World Health Organization. *Oral Oncol*. 2009;45(4-5):454-60. doi: 10.1016/j.oraloncology.2008.05.023. PMID: 18804412.

Peyron MA, Santé-Lhoutellier V, François O, Hennequin M. Oral declines and mastication deficiencies cause alteration of food bolus properties. *Food Funct*. 2018 Feb 21;9(2):1112. doi: 10.1039/c7fo01628j. PMID: 29359227.

Pioch T, Golfels D, Staehle HJ. An experimental study of the stability of irradiated teeth in the region of the dentinoenamel junction. *Endod Dent Traumatol*. 1992;8(6):241-4. PMID: 1302687.

Qing P, Huang S, Gao S, Qian L, Yu H. Effect of gamma irradiation on the wear behavior of human tooth dentin. *Clin Oral Investig*. 2016 Dec;20(9):2379-86. doi: 10.1007/s00784-016-1731-5. PMID: 26809432.

Qinq P, Huang S, Gao SS, Qian LM, Yu HY. Effect of gamma irradiation on the wear behavior of human tooth enamel. *Sci Rep*. 2015;5:11568. doi: 10.1048/srep11568. PMID: 26099692.

Ramos NC, Campos TM, Paz IS, Machado JP, Bottino MA, Cesar PF, et al. Microstructure characterization and SCG of newly engineerde dental ceramics. *Dent Mater*. 2016 Jul;32(7):870-8. doi: 10.1016/j.dental.2016.03.018. PMID: 27094589.

Reed R, Xu C, Liu Y, Gorski JP, Wang Y, Walker MP. Radiotherapy effect on nanomechanical properties and chemical composition of enamel and dentine. *Arch Oral Biol* 2015 May; 60(5):690-7. doi: 10.1016/j.archoralbio.2015.02.020. PMID: 25766468.

Reitemeier B, Reitemeier G, Schmidt A, Schaal W, Blochberger P, Lehmann D, et al. Evaluation of a device for attenuation of electron release from dental restorations in a therapeutic radiation field. *J Prosthet Dent*. 2002; 87(3): 323-7. PMID: 11941360.

Reyes-Gasga J, Martínez-Piñeiro EL, Rodríguez-Álvarez G, Tiznado-Orozco GE, García-García R, Brès EF. XRD and FTIR crystallinity indices in sound human tooth enamel and synthetic hydroxyapatite. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2013 Dec 1;33(8):4568-74. doi: 10.1016/j.msec.2013.07.014. PMID: 24094161.

Richards TM, Hurley T, Grove L, Harrington KJ, Carpenter GH, Proctor GB, et al. The effect of parotid gland-sparing intensity-modulated radiotherapy on salivary composition, flow rate and xerostomia measures. *Oral Dis*. 2017 Oct;23(7):990-1000. doi: 10.1111/odi.12686. PMID: 28434191.

Savoini B, Cáceres D, Vergara I, González R, Muñoz Santiuste J. Radiation damage in neutron-irradiated yttria-stabilized-zirconia single crystals. *J Nucl Mat*. 2000 Feb;277(2-3):199-203. doi: 10.1016/S0022-3115(99)00200-7.

Scaff L. Física da radioterapia. São Paulo: Sarvier; 1997

Seyedmahmoud R, Wang Y, Thiagarajan G, Gorski JP, Reed Edwards R, McGuire JD, et al. Oral cancer radiotherapy affects enamel microhardness and associated indentation pattern morphology. *Clin Oral Investig*. 2018 May;22(4):1795-803. doi: 10.1007/s00784-017-2275-z. PMID: 29151196.

Shah JP, Gil Z. Current concepts in management of oral cancer – surgery. *Oral Oncol*. 2009 Apr-May;45(4-5):394-401. doi: 10.1016/j.oraloncology.2008.05.017. PMID: 18674952.

Silva PNFD, Martinelli-Lobo CM, Bottino MA, Melo RM, Valandro LF. Bond strength between a polymer-infiltrated ceramic network and a composite for repair: effect of several ceramic surface treatments. *Braz Oral Res*. 2018;32:e28. doi: 10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0028. PMID: 29641642.

Soares CJ, Castro CG, Neiva NA, Soares PV, Santos-Filho PC, Naves LZ, et al. Effect of gamma irradiation on ultimate tensile strength of enamel and dentin. *J Dent Res*. 2010 Feb;89(2):159-64. doi: 10.1177/0022034509351251. PMID: 20042736.

Soares CJ, Neiva NA, Soares PB, Dechichi P, Novais VR, Naves LZ, et al. Effects of chlorhexidine and fluoride on irradiated enamel and dentin. *J Dent Res*. 2011 May;90(5):659-64. doi: 10.1177/0022034511398272. PMID: 21335538.

Springer IN, Niehoff P, Warnke PH, Böcek G, Kovács G, Suhr M et al. Radiation caries- radiogenic destruction of dental collagen. *Oral Oncol*. 2005;41(7):723-8. doi: 10.1016/j.oraloncology.2005.03.011. PMID: 15979926.

Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth JF. Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM composites. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2015 Mar;55:1-11. doi: 10.1016/j.jmbbm.2015.10.004. PMID: 26519658.

Stuart BW, Gimeno-Fabra M, Segal J, Ahmed I, Grant DM. Mechanical, structural and dissolution properties of heat treated thin-film phosphate based glasses. *Appl Surf Sci*. 2017;416:605-17. doi:10.1016/j.apsusc.2017.04.110.

Tillitson EW, Craig RG, Peyton FA. Friction and wear of restorative dental materials. *J Dent Res*. 1971 Jan-Feb;50(1):149-54. doi: 10.1177/00220345710500011001. PMID: 5276330.



Thiagarajan G, Vizcarra B, Bodapudi V, Reed R, Seyedmahmoud R, Wang Y, et al. Stress analysis of irradiated human tooth enamel using finite element methods. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2017 Nov;20(14):1533-42. doi: 10.1080/10255842.2017.1383401. PMID: 29063816.

Toque JA, Herliansyah MK, Hamdi M, Ide-Ektessabi A, Sopyan I. Adhesion failure behavior of sputtered calcium phosphate thin film coatings evaluated using microscratch testing. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2010 May;3(4):324-30. doi: 10.1016/j.jmbbm.2010.01.002. PMID: 20346900.

Tsujii II. Quantitative dose-response analysis of salivary function following radiotherapy using sequential RT-sialography. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1985;11:1603-12. PMID: 2993209.

Tsujimoto A, Barkmeier WW, Takamizawa T, Latta MA, Miyazaki M. Influence of Thermal Cycling on Flexural Properties and Simulated Wear of Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing Resin Composites. *Oper Dent.* 2017 Jan/Feb;42(1):101-10. doi: 10.2341/16-046-L. PMID: 27802120.

Vargas-Becerril N, García-García R, Reyes-Gasga J. Structural Changes in Human Teeth after Heating up to 1200°C in Argon Atmosphere. *Materials Sci Appl.* 2018; 9:637-56. doi: 10.4236/msa.2018.97046.

Vaz, Rafael Galhardo. Metodologia de medidas dos efeitos de dose acumulada de radiação ionizante nos parâmetros elétricos de transistores MOS [dissertação]. São José dos Campos (SP): Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), 2015.

Veronese I, Galli A, Cantone MC, Martini M, Vernizzi F, Guzzi G. Study of TSL and OSL properties of dental ceramics for accidental dosimetry applications. *Rad Meas.* 2010 Jan;45:35–41. doi: 10.1016/j.radmeas.2009.11.005.

von Fraunhofer JA, Curtis Jr P, Sharma S, Farman AG. The effects of gamma radiation on the properties of composite restorative resins. *J Dent.* 1989 Aug;17(4):177-83. PMID: 2768630.

Walker R. Direct effect of radiation on the solubility of human teeth in vitro. *J Dent Res.* 1975 Jul-Aug;54(4):901. doi: 10.1177/00220345750540043201. PMID: 1057576.

Wang K, Amdur RJ, Mendenhall WM, Green R, Aumer S, Hackman TG, et al. Impact of post-chemoradiotherapy superselective/selective neck dissection on patient reported quality of life. *Oral Oncol.* 2016; 58:21–6. doi: 10.1016/j.oraloncology.2016.04.015. PMID: 27311398.

Wassell RW, McCabe JF, Walls AW. A two-body frictional wear test. *J DentRes.* 1994;Sep;73(9):1546-53. doi: 10.1177/00220345940730091001. PMID: 7929990.

Woda A, Mishellany A, Peyron MA. The regulation of masticatory function and food bolus formation. *J Oral Rehabil.* 2006 Nov;33(11):840-9. doi: 10.1111/j.1365-2842.2006.01626.x. PMID: 17002744.

Yap AU, Ong LF, Teoh SH, Hastings GW. Comparative wear ranking of dental restoratives with the BIOMAT wear simulator. *J Oral Rehabil.* 1999 Mar;26(3):228-35. PMID: 10194732.

Yoriyaz H. Monte Carlo Method: principles and applications in Medical Physics. *Revista Brasileira de Física Médica.* 2009;3(1):141-9.

Xu Z, Yu P, Arola DD, Min J, Gao S. A comparative study on the wear behavior of a polymer infiltrated ceramic network (PICN) material and tooth enamel. *Dent Mater.* 2017 Dec;33(12):1351-61. doi: 10.1016/j.dental.2017.08.190. PMID: 28941585.

Zierden K, Acar J, Rehmann P, Wöstmann B. Wear and Fracture Strength of New Ceramic Resins for Chairside Milling. *Int J Prosthodont.* 2018;31(1):74–6. doi: 10.11607/ijp.5492. PMID: 29166421.

Zheng J, Zeng Y, Wen J, Zheng L, Zhou Z. Impact wear behavior of human tooth enamel under simulated chewing conditions. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2016 Sep;62:119-27. doi: 10.1016/j.jmbbm.2016.04.039. PMID: 27183431.

Zhi L, Bortolotto T, Krejci I. Comparative in vitro wear resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic materials. *J Prosthet Dent.* 2016 Feb;115(2):199-202. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.07.011. PMID: 26460171.

Zurek AD, Alfaro MF, Wee AG, Yuan JC, Barao VA, Mathew MT, Sukotjo C. Wear Characteristics and Volume Loss of CAD/CAM Ceramic Materials. *J Prosthodont.* 2018 Mar 6. doi: 10.1111/jopr.12782. PMID: 29508487.