

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 07/07/2023.



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Mariana Ribeiro Baldochi

**Efeito da espessura de zircônia e dissilicato de lítio monolíticos sob fadiga
acelerada progressiva**

Araraquara

2021



UNESP - Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”
Faculdade de Odontologia de Araraquara



Mariana Ribeiro Baldochi

**Efeito da espessura de zircônia e dissilicato de lítio monolíticos sob fadiga
acelerada progressiva**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Odontologia de Araraquara para obtenção do título de Mestre em Odontologia, na Área de Reabilitação Oral

Orientador: Prof. Dr. Gelson Luis Adabo

Araraquara

2021

B178e

Baldochi, Mariana Ribeiro

Efeito da espessura de zircônia e dissilicato de lítio
monolíticos sob fadiga acelerada progressiva / Mariana Ribeiro
Baldochi. -- Araraquara, 2021

51 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Odontologia, Araraquara
Orientador: Gelson Luis Adabo

1. Cerâmica. 2. Zircônio. 3. Resistência de materiais. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Odontologia, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

Mariana Ribeiro Baldochi

**Efeito da espessura de zircônia e dissilicato de lítio monolíticos sob fadiga
acelerada progressiva**

Comissão julgadora

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Odontologia, área de
Reabilitação Oral**

Presidente e orientador: Prof. Dr. Gelson Luis Adabo

2º Examinador: Prof^a. Dr^a. Renata Garcia Fonseca

3º Examinador: Prof. Dr. Estevam Augusto Bonfante

Araraquara, 07 de julho de 2021

DADOS CURRICULARES

Mariana Ribeiro Baldochi

NASCIMENTO: 15/01/1996 – Ribeirão Preto, SP

FILIAÇÃO: Anacynira Barros Ribeiro Baldochi e Américo Baldochi Júnior

2014 – 2018: Curso de Graduação em Odontologia
Faculdade de Odontologia de Araraquara (FOAr - UNESP)

2019 – 2019: Curso de Extensão em Odontologia Estética
Associação Paulista de Cirurgiões Dentistas (APCD), Regional de Araraquara

2019 – 2021: Curso de Pós-Graduação em Odontologia – Área de Reabilitação Oral
Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese- Nível Mestrado
Faculdade de Odontologia de Araraquara (FOAr - UNESP)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus por nunca me desamparar em meu caminho, mostrando-me, ao final, que sempre Seus planos se cumprem.

Aos meus pais, Ana e Américo, por serem responsáveis por toda minha formação pessoal e por sempre assegurarem minha formação profissional. Vocês, juntamente com minha irmã, Amanda, são a base sólida para a construção de minhas conquistas.

Ao meu namorado Luan, por estar sempre ao meu lado, apoiando-me e amparando-me nas dificuldades, sem medir esforços para me ajudar.

Agradeço aos meus amigos Suellen, Thaís e Marlon, que desde a graduação se tornaram meus grandes companheiros. Saber que podia contar com vocês durante a pós-graduação foi imprescindível para a conclusão desta etapa. A amizade de vocês levarei para sempre comigo.

Agradeço aos demais colegas da minha turma de Mestrado, por compartilharem esse caminho comigo e sempre estarem dispostos a me ajudar quando preciso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Gelson Luis Adabo. Após quase sete anos sob sua orientação, faltam-me palavras para lhe agradecer. Integridade e solicitude lhe definem. Obrigada por todo conhecimento compartilhado, pela disposição em sempre ajudar e por despertar meu amor pela ciência. Sua jornada é admirável e sou grata por ter feito parte dela.

Agradeço ao Prof. Dr. Estevam Augusto Bonfante pelas contribuições significativas que possibilitaram a execução e conclusão desta pesquisa.

À Faculdade de Odontologia de Araraquara e ao Programa de Pós-graduação em Odontologia por viabilizar a realização deste trabalho.

À CAPES, uma vez que o presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Auxílio à Pesquisa Processo nº 2016/09604-0) pelo apoio financeiro essencial para realização dessa pesquisa.

Baldochi MR. Efeito da espessura de zircônia e dissilicato de lítio monolíticos sob fadiga acelerada progressiva [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2021.

RESUMO

O lascamento da porcelana de cobertura é um problema recorrente em sistemas totalmente cerâmicos a base de zircônia policristalina estabilizada por ítria (YTZP) e para eliminar a necessidade do material de recobrimento, foram desenvolvidas zircônias com maior grau de translucidez, indicadas para o uso monolítico. No entanto, o comportamento mecânico desses novos materiais sob fadiga e a espessura mínima indicada ainda são incertos. O objetivo deste estudo foi avaliar as zircônias monolíticas Prettau (P) e Prettau Anterior (PA) e o dissilicato de lítio IPS e.max CAD (DL), por meio de ensaio de fadiga acelerada progressiva variando-se a espessura do material. Foram confeccionados discos com as cerâmicas (n=54/material) com as dimensões finais de 12 mm de diâmetro e espessura de 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm. Os discos foram cimentados sobre discos de resina epóxi G10 de 12 mm de diâmetro e 3 mm de espessura. Os corpos-de-prova (n=18/grupo) foram submetidos ao ensaio de fadiga acelerada na distribuição 3 x 2 x 1, sendo 9 espécimes testados em regime leve, 6 no regime moderado e 3 no agressivo. A distribuição das falhas e as probabilidades de sobrevivência foram submetidos à análise de Weibull de dano acumulado, por meio do software ReliaSoft. O modo de falha foi investigado para identificação do tipo e da origem da fratura. Os resultados de confiabilidade para uma missão calculada de 50000 ciclos a 500 N variaram de 68% a 85% para Prettau Anterior, de 97 a 99% para e.max CAD e 86% a 100% para Prettau. Na espessura de 1,0 mm e 1,5 mm o e.max CAD apresentou confiabilidade superior a Prettau Anterior e na espessura de 1,0 mm houve redução significativa da confiabilidade da Prettau. Houve diferença estatística significativa na resistência característica e no módulo de Weibull, sendo que P 1,5 mm apresentou a mais elevada média desses parâmetros. A avaliação do modo de falha revelou que os grupos DL 0,5 mm, PA em todas as espessuras e P 0,5 mm e P 1,5 mm, as trincas foram predominantes radiais, associadas a algumas trincas tipo cone interno. Foram observadas trincas radiais associadas a trincas tipo cone interno em número maior e em diferentes direções para o grupo P 1,0 mm. Concluiu-se que a zircônia totalmente estabilizada por ítria, apresenta menor confiabilidade e resistência característica. Ambos os tipos de zircônia se mostraram sensíveis à variação da espessura, particularmente na medida intermediária. O dissilicato de lítio foi pouco influenciado pela espessura.

Palavras – chave: Cerâmica. Zircônio. Resistência de materiais.

Baldochi MR. Thickness effect of monolithic zirconia and lithium disilicate under step-stress accelerated life testing [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2021.

ABSTRACT

Chipping of veneer porcelain is a recurrent problem in all-ceramic systems based on yttria-stabilized polycrystalline zirconia (YTZP) and to eliminate the need for veneer material, monolithic zirconia with a higher translucency have been developed. However, mechanical behavior of these new materials under fatigue and the minimum thickness indicated are still uncertain. The aim of this study was to evaluate different thickness of two types of monolithic zirconias (Prettau and Prettau Anterior) and a lithium disilicate (IPS e.max CAD) by step stress accelerated life testing. Ceramic discs (n=54/material) were made with 12 mm in diameter and 0.5 mm, 1.0 mm, 1.5 mm thickness. The discs were cemented on G10 epoxy resin discs (12 mm of diameter and 3 mm of thickness). The samples (n=18/group) were tested by step stress accelerated life testing in a 3 x 2 x 1 distribution, with 9 samples being tested in mild profile, 6 in moderate profile and 3 in aggressive profile. Failure distribution and survival probabilities were submitted to Weibull analysis of accumulated damage using ReliaSoft software. Failure mode analysis was performed to identify the type and origin of the fracture. Reliability results for a given mission of 50000 cycles under 500 N ranged from 68% to 85% for Prettau Anterior, 97 to 99% for e.max CAD, and 86% to 100% for Prettau. The thickness of 1.0 mm and 1.5 mm of e.max CAD provided greater reliability than Prettau Anterior and Prettau 1.0 mm. There was a statistically significant difference in characteristic strength and Weibull modulus, with P 1.5 mm presenting the highest mean of these parameters. Failure mode evaluation indicated that the groups e.max CAD 0.5 mm, Prettau Anterior in all thicknesses and Prettau in 0.5 mm and 1.5 mm, presented radial cracks associated to inner cone cracks. In the group Prettau 1.0 mm there were radial cracks associated to higher amount of inner cone cracks. It was concluded that the full stabilized zirconia was less reliable and less strong than the other ceramics, particularly when compared to partially stabilized zirconia. Both types of zirconia were sensible to thickness, especially in intermediary thickness. The lithium disilicate ceramic was not markedly affected by thickness.

Keywords: Ceramic. Zirconium. Material resistance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 PROPOSIÇÃO.....	14
2.1 Objetivos Específicos.....	14
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 Desenvolvimento da Zircônia	15
3.2 Fadiga e Falha de Materiais Cerâmicos	20
4 MATERIAL E MÉTODO	26
4.1 Material	26
4.2 Método	26
4.2.1 Confecção dos espécimes de zircônia	26
4.2.2 Confecção dos espécimes de dissilicato de lítio.....	27
4.2.3 Obtenção do substrato de resina epóxi	27
4.2.4 Cimentação dos espécimes	27
4.2.5 Ensaio mecânico de fadiga acelerada progressiva	28
4.2.6 Análise de falha	31
4.2.7 Análise dos resultados	32
5 RESULTADO	33
5.1 Ensaio Mecânico de Fadiga Acelerada Progressiva	33
5.2 Análise de Falha	38
6 DISCUSSÃO	40
7 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46
APÊNDICE.....	51

1 INTRODUÇÃO

A busca pelo material restaurador com características ideais vigora há muito tempo na Odontologia¹. Neste contexto, as cerâmicas odontológicas representam uma evolução no campo da ciência nas últimas três décadas em razão de suas propriedades promissoras como biocompatibilidade, estética e durabilidade química². Além disso, a partir da década de 70, o desenvolvimento da tecnologia CAD/CAM (*computer aided design/computer aided manufacturing*) permitiu o uso de blocos fabricados industrialmente sob rígido controle -materiais monolíticos- que garantem menor presença de falhas internas, otimização do tempo de trabalho e preparos dentais mais conservadores^{1,3}.

Atualmente, a zircônia tem sido um importante material de eleição dentre as cerâmicas odontológicas por apresentar propriedades mecânicas superiores e excelente biocompatibilidade⁴. Este material pode ser encontrado em três diferentes estruturas cristalinas (monoclínica, tetragonal e cúbica) que se estabilizam conforme a temperatura. É na fase tetragonal que as propriedades mecânicas mais úteis são obtidas, portanto são adicionados óxidos, como a ítria (Y_3O_2), que estabilizam a zircônia nesta fase durante o resfriamento até a temperatura ambiente. Logo, este material, conhecido por zircônia tetragonal policristalina estabilizada por ítria (Y-TZP), é metaestável, uma vez que pode ocorrer a reversão da fase tetragonal para monoclínica sob determinadas condições de tensão, o que gera expansão volumétrica do grão cristalino. Esse fenômeno, descrito por Garvie et al.⁵, é conhecido por tenacificação por transformação de fase e é responsável pelo aumento da resistência à fratura da Y-TZP uma vez que limita o crescimento de trincas geradas pelas tensões. Todavia, apesar do interessante desempenho mecânico, a coloração branca e opaca intrínseca da Y-TZP não permite um resultado estético satisfatório, o que justifica, portanto, a indicação de seu recobrimento com porcelanas feldspáticas para mimetizar a aparência natural da dentição³.

Contudo, índices clínicos elevados de lascamento e de fratura coesiva da porcelana têm sido considerados as principais causas de falha destas restaurações⁶⁻⁸. Al-Amleh et al.⁹ em uma revisão sistemática de casos clínicos se referem ao lascamento da porcelana de cobertura como a complicação mais comum em restaurações com infraestrutura em zircônia, sendo observada em todas as oito

marcas de zircônias investigadas em seu estudo. Sailer et al.¹⁰ em uma revisão sistemática publicada em 2007, verificaram a porcentagem estimada de 10% a 60% para essas complicações em prótese com infraestrutura em zircônia em um período de apenas cinco anos. Em 2018, Sailer et al.¹¹ publicaram outra revisão sistemática com abordagem de próteses fixas implantossuportadas e concluiu que, nestes casos, a estimativa de perda das próteses por fratura da cerâmica de cobertura foi 4,1% quando baseada em infraestrutura de zircônia e apenas 0,2% para as metalocerâmicas. Diante disto, algumas estratégias foram desenvolvidas por fabricantes para permitirem o uso da zircônia monolítica¹², de forma a dispensar o recobrimento com porcelana e, conseqüentemente, aumentar a longevidade das restaurações. Tais estratégias incluem alternativas que visam aumentar a translucidez da zircônia, por exemplo, por meio da alteração do tamanho dos grãos cristalinos¹³ ou redução do conteúdo de alumina¹⁴, de modo a diminuir a dispersão óptica deste material. Outra alternativa, mais recente, é baseada no aumento do conteúdo de ítria (de 2-5% em mol para no mínimo 8%)¹⁵, com o objetivo de aumentar a proporção de fase cúbica, caracterizada por maior translucidez devido a propriedade de isotropia nesta condição; estas são conhecidas como zircônias de alta translucidez, sendo um exemplo desta categoria de material a zircônia Prettau Anterior (Zirkonzhan).

Neste sentido, com finalidade didática, as diferentes formulações de zircônias têm sido classificadas em gerações, como descrito, por exemplo, por Kwon et al.¹⁶ e Zhang e Lawn¹⁷:

1- Primeira geração: representada pela 3Y-TZP convencional que tem em sua composição 3 mol% de ítria, responsável pela metaestabilidade da fase tetragonal, e 0,25% de alumina, que tem a função de maximizar a sinterização e reduzir a porosidade. Apresenta elevada resistência mecânica, baseada no fenômeno de tenacificação por transformação de fase, apesar da alta opacidade, sendo por isso, recomendada para infraestruturas de próteses.

2- Segunda geração: também é baseada na Y-TZP (3-4 mol%), porém com redução no tamanho médio dos grãos, diminuição da concentração de alumina e aumento da temperatura de sinterização. Assim, as propriedades ópticas são moderadamente melhoradas e, portanto, são indicadas para restaurações monolíticas em região posterior. Nesta condição as características mecânicas são mantidas, pois o fenômeno de tenacificação por transformação de fases é preservado.

3- Terceira geração: tem uma importante alteração na composição, aumentando significativamente a concentração de ítria e, por conseguinte, a concentração de fase cúbica, a qual pode ser totalmente estabilizada por este dopante. Assim, as propriedades ópticas são significativamente melhoradas, contudo o mecanismo de tenacificação por transformação de fase não é observado na zircônia cúbica o que, por conseguinte, reduz a resistência mecânica deste material.

Assim sendo, estudos que investiguem o comportamento mecânico das zircônias monolíticas de segunda e terceira gerações em longo prazo são necessários, tendo em vista que a zircônia totalmente estabilizada possui configuração microestrutural diferenciada e virtualmente elimina o mecanismo de tenacificação por transformação de fase¹⁸, considerado a chave do sucesso mecânico das zircônias convencionais. Ademais, recentemente Muñoz et al.¹⁹ demonstrou a inexistência de transformação de fase tetragonal para monoclinica na zircônia totalmente estabilizada por ítria mesmo em condições de envelhecimento mecânico e hidrotérmico artificial, contrariamente aos achados para as zircônias parcialmente estabilizadas por ítria, o que justificou a menor resistência à flexão biaxial da Prettau Anterior em comparação com as demais neste estudo.

Outra cerâmica com importante indicação para a produção de peças sem infraestrutura metálica é a cerâmica vítrea a base de dissilicato de lítio, disponível para técnica de prensagem ou usinagem (CAD/CAM). Tal indicação é baseada em ótimas características estéticas devido a maior translucidez, quando comparada à zircônia. Apesar de apresentar resistência mecânica menor que a zircônia, o desempenho mecânico é satisfatório dentro de suas indicações^{2,20}. Além disso, possui bem estabelecida técnica de cimentação, o que promove adequada adesão com o substrato; as zircônias, ao contrário, têm a adesão como um dos pontos críticos da técnica de cimentação e, por consequência, da performance clínica dessas cerâmicas^{21,22}.

Dessa forma, devido ao aumento da popularidade dos sistemas totalmente cerâmicos, em vista do crescimento da exigência estética e do desenvolvimento da tecnologia CAD/CAM, cresce também a investigação no campo da ciência em relação às suas propriedades.

Logo, é notável a importância da caracterização do desempenho mecânico dos materiais cerâmicos. Neste contexto, o fenômeno de fadiga é um importante parâmetro preditor da longevidade das restaurações, por acelerar a degradação do

material que ocorre, de fato, ao longo do tempo sob influência de fatores ambientais²³. Neste tipo de ensaio mecânico, tradicionalmente, é feita a aplicação repetida de estresse- normalmente menor do que o necessário para causar falha em ensaios estáticos- até a fratura do espécime. Contudo, vários métodos para análise da fadiga são descritos na literatura. O método de fadiga acelerada progressiva (do inglês, *step-stress accelerated life testing* – SSALT) tem sido utilizado para determinação da confiabilidade de materiais cerâmicos²⁴⁻²⁸. Dessa forma, a análise da sobrevida é feita baseada no registro de tempo (número de ciclos) necessário para gerar a falha sob um determinado estresse (carga). Neste método em questão, os espécimes são submetidos a níveis de carregamento crescente e estão distribuídos em três perfis (leve, moderado e agressivo) que indicam a progressiva rapidez com que se atinge o limite de carga. A principal vantagem deste teste é registrar a falha em um tempo menor através do aumento progressivo da quantidade de estresse mecânico e, portanto, otimizar também o desempenho da máquina de ensaio, que tende a ficar em situação de sobreuso em caso de testes de duração extrema²⁹.

Além disso, em estudos em que fraturas de cerâmicas são envolvidas, torna-se relevante a investigação da superfície fraturada, sendo esta uma importante ferramenta de análise com a finalidade de buscar padrões e marcas específicas para identificação da origem e possível determinação da causa da fratura, o que pode auxiliar na busca de medidas que otimizem o desempenho dos materiais^{30,31}.

Outro aspecto que merece destaque é a relação entre espessura, resistência mecânica e translucidez. Para que o dissilicato de lítio apresente resistência adequada, é recomendável prover espessura de 1,5 mm. Por outro lado, a zircônia poderia ser empregada em menores espessuras devido à sua maior resistência mecânica³². Além disso, à medida que se reduz a espessura, a translucidez é aumentada. Assim, diante desse pressuposto, restaurações de zircônia monolítica seriam particularmente interessantes em situações clínicas de pequeno espaço interoclusal. No entanto, o uso de pequenas espessuras de zircônia monolítica é pouco explorado na literatura, principalmente, quando se considera estudos de fadiga mecânica em zircônias de terceira geração.

Em vista do exposto, julgamos oportuno investigar o comportamento de dois tipos de zircônias monolíticas, parcialmente e totalmente estabilizada por ítria, e um dissilicato de lítio para o sistema CAD/CAM, em ensaio de fadiga acelerada progressiva de discos cimentados em um substrato análogo à dentina, obtidos em três

diferentes espessuras, de modo a determinar a confiabilidade e analisar as falhas destes materiais.

7 CONCLUSÕES

Dentro das limitações deste estudo in vitro, concluímos que:

1. Ambos os tipos de zircônia se mostraram sensíveis à variação da espessura, particularmente na medida intermediária.
2. Quando se comparam as cerâmicas, a zircônia totalmente estabilizada por ítria apresenta menor resistência característica e a zircônia parcialmente estabilizada por ítria o melhor desempenho, exceto na espessura de 1,0 mm, enquanto o dissilicato de lítio exibiu valores intermediários.
3. Os menores valores de confiabilidade foram obtidos na zircônia totalmente estabilizada por ítria, especialmente na espessura intermediária. A zircônia parcialmente estabilizada por ítria apresentou máxima confiabilidade nas espessuras de 0,5 mm e 1,5 mm. O dissilicato de lítio não diferiu do comportamento da zircônia parcialmente estabilizada por ítria.
4. O maior valor de módulo de Weibull foi encontrado na zircônia parcialmente estabilizada por ítria na espessura de 1,5 mm e o menor para a zircônia totalmente estabilizada por ítria de 0,5 mm. Os demais grupos ficaram em posição intermediária, sem diferença estatística entre si.
5. O modo de falha foi variável entre as cerâmicas, havendo predominância de trincas radiais na zircônia totalmente estabilizada por ítria e dissilicato de lítio na menor espessura. Já a zircônia parcialmente estabilizada por ítria e dissilicato de lítio, nas maiores espessuras, houve associação de trincas radiais e do tipo cone interno, os quais foram de maior magnitude na zircônia parcialmente estabilizada por ítria de 1,0 mm.

REFERÊNCIAS*

1. Souza ROA, Miyashita E, Campos F, Lima JC, Mesquita AM. Cerâmicas para próteses livres de metal: possibilidades e novas perspectivas. In: Miyashita E, Pellizer EP, Kimpapa ET. Reabilitação oral contemporânea baseada em evidências científicas. Nova Odessa, SP: Napoleão; 2014. p. 152-212.
2. Anusavice KJ. Cerâmicas odontológicas. In: Anusavice KJ, Shen C, Rawls HR. Phillips materiais dentários. 12ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2013. p. 419-73.
3. Kurt M, Turhan Bal B. Effects of accelerated artificial aging on the translucency and color stability of monolithic ceramics with different surface treatments. J Prosthet Dent. 2019; 121(4): e1-8.
4. Lucas TJ, Lawson NC, Janowski GM, Burgess JO. Effect of grain size on the monoclinic transformation, hardness, roughness, and modulus of aged partially stabilized zirconia. Dent Mater. 2015; 31(12): 1487-92.
5. Garvie RC, Hannink RH, Pascoe RT. Ceramic steel? Nature. 1975; 258: 703-4.
6. Schmitter M, Mueller D, Rues S. Chipping behaviour of all-ceramic crowns with zirconia framework and CAD/CAM manufactured veneer. J Dent. 2012; 40(2): 154-62.
7. Belli R, Petschelt A, Lohbauer U. Thermal-induced residual stresses affect the fractographic patterns of zirconia-veneer dental prostheses. J Mech Behav Biomed Mater. 2013; 21: 167-77.
8. Alsarani M, Souza G, Rizkalla A, El-Mowafy O. Influence of crown design and material on chipping-resistance of all-ceramic molar crowns: an in vitro study. Dent Med Probl. 2018; 55(1): 35-42.
9. Al-Amleh B, Lyons K, Swain M. Clinical trials in zirconia: a systematic review. J Oral Rehabil. 2010; 37(8): 641-52.
10. Sailer I, Pjetursson BE, Zwahlen M, Hammerle CH. A systematic review of the survival and complication rates of all-ceramic and metal-ceramic reconstructions after an observation period of at least 3 years. Part II: fixed dental prostheses. Clin Oral Implants Res. 2007; 18(3): 86-96. Review. Erratum in: Clin Oral Implants Res. 2008; 19(3): 326-8.
11. Sailer I, Strasding M, Valente NA, Zwahlen M, Liu S, Pjetursson BE. A systematic review of the survival and complication rates of zirconia-ceramic and metal-ceramic multiple-unit fixed dental prostheses. Clin Oral Implants Res. 2018; 29(16): 184-98.

* De acordo com o Guia de Trabalhos Acadêmicos da FOAr, adaptado das Normas Vancouver. Disponível no site da Biblioteca: <http://www.foar.unesp.br/Home/Biblioteca/guia-de-normalizacao-atualizado.pdf>

- 12.** Bergamo E, da Silva WJ, Cesar PF, Del Bel Cury AA. Fracture load and phase transformation of monolithic zirconia crowns submitted to different aging protocols. *Oper Dent*. 2016; 41(5): e118-30.
- 13.** Zhang Y. Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dent Mater*. 2014; 30(10): 1195-203.
- 14.** Haibin Z, Zhipeng L, Byung-Nam K, Morita K, Yoshida H, Hiraga K et al. Effect of alumina dopant on transparency of tetragonal zirconia. *J Nanomater*. 2012; 2012: 1-5.
- 15.** Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Donovan TE, Vallittu PK, Närhi TO, Lassila LV. The effect of staining and vacuum sintering on optical and mechanical properties of partially and fully stabilized monolithic zirconia. *Dent Mater J*. 2015; 34(5): 605-10.
- 16.** Kwon SJ, Lawson NC, McLaren EE, Nejat AH, Burgess JO. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent*. 2018; 120(1): 132-7.
- 17.** Zhang Y, Lawn BR. Novel zirconia materials in dentistry. *J Dent Res*. 2018; 97(2): 140–7.
- 18.** Camposilvan E, Leone R, Gremillard L, Sorrentino R, Zarone F, Ferrari M et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications. *Dent Mater*. 2018; 34(6): 879-90.
- 19.** Muñoz EM, Longhini D, Antonio SG, Adabo GL. The effects of mechanical and hydrothermal aging on microstructure and biaxial flexural strength of an anterior and a posterior monolithic zirconia. *J Dent*. 2017; 63: 94-102.
- 20.** Czigola A, Abram E, Kovacs ZI, Marton K, Hermann P, Borbely J. Effects of substrate, ceramic thickness, translucency, and cement shade on the color of CAD/CAM lithium-disilicate crowns. *J Esthet Restor Dent*. 2019; 31(5): 457-64.
- 21.** Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent*. 2003; 89(3): 268-74.
- 22.** Papia E, Larsson C, du Toit M, Vult von Steyern P. Bonding between oxide ceramics and adhesive cement systems: a systematic review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2014; 102(2): 395-413.
- 23.** Kelly JR, Cesar PF, Scherrer SS, Della Bona A, van Noort R, Tholey M et al. ADM guidance-ceramics: Fatigue principles and testing. *Dent Mater*. 2017; 33(11): 1192-204.
- 24.** Coelho PG, Silva NR, Bonfante EA, Guess PC, Rekow ED, Thompson VP. Fatigue testing of two porcelain-zirconia all-ceramic crown systems. *Dent Mater*. 2009; 25(9): 1122-7.

- 25.** Coelho PG, Bonfante EA, Silva NRF, Rekow ED, Thompson VP. Laboratory simulation of Y-TZP all-ceramic crown clinical failures. *J Dent Res.* 2009; 88(4): 382-6.
- 26.** Bonfante EA, Coelho PG, Navarro JM Jr, Pegoraro LF, Bonfante G, Thompson VP et al. Reliability and failure modes of implant-supported Y-TZP and MCR three-unit bridges. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2010; 12(3): 235-43.
- 27.** Bonfante EA, Rafferty B, Zavanelli RA, Silva NR, Rekow ED, Thompson VP et al. Thermal/mechanical simulation and laboratory fatigue testing of an alternative yttria tetragonal zirconia polycrystal core-veneer all-ceramic layered crown design. *Eur J Oral Sci.* 2010; 118(2): 202-9.
- 28.** Bonfante EA, Suzuki M, Lorenzoni FC, Sena LA, Hirata R, Bonfante G et al. Probability of survival of implant-supported metalceramic and CAD/CAM resin nanoceramic crowns. *Dent Mater.* 2015; 31(8): 168-77.
- 29.** Bonfante EA. Confiabilidade e modos de fratura de próteses fixas implanto-suportadas metalocerâmicas e em zircônia [tese de doutorado]. Bauru: Faculdade de Odontologia da USP; 2009.
- 30.** Scherrer SS, Lohbauer U, Della Bona A, Vichi A, Tholey MJ, Kelly JR et al. ADM guidance-ceramics: guidance to the use of fractography in failure analysis of brittle materials. *Dent Mater.* 2017; 33(6): 599-620.
- 31.** Lohbauer U, Amberger G, Quinn GD, Scherrer SS. Fractographic analysis of a dental zirconia framework: a case study on design issues. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2010; 3(8): 623-9.
- 32.** Nordahl N, Vult von Steyern P, Larsson C. Fracture strength of ceramic monolithic crown systems of different thickness. *J Oral Sci.* 2015; 57(3): 255-61
- 33.** Piconi C, Maccauro G. Zirconia as a ceramic biomaterial. *Biomaterials.* 1999; 20(1): 1-25.
- 34.** Johansson C, Kmet G, Rivera J, Larsson C, Vult Von Steyern P. Fracture strength of monolithic all-ceramic crowns made of high translucent yttrium oxide-stabilized zirconium dioxide compared to porcelain-veneered crowns and lithium disilicate crowns. *Acta Odontol Scand.* 2014; 72(2): 145-53.
- 35.** Ghodsi S, Jafarian Z. A review on translucent zirconia. *Eur J Prosthodont Restor Dent.* 2018; 26(2): 62-74.
- 36.** Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke mann N. Three generations of zirconia: from veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int.* 2017; 48(5): 369-80.
- 37.** Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lümke mann N. Three generations of zirconia: from veneered to monolithic. Part II. *Quintessence Int.* 2017; 48(6): 441-50.

- 38.** Carrabba M, Keeling AJ, Aziz A, Vichi A, Fabian Fonzar R, Wood D et al. Translucent zirconia in the ceramic scenario for monolithic restorations: a flexural strength and translucency comparison test. *J Dent.* 2017; 60: 70-6.
- 39.** Harada K, Raigrodski AJ, Chung KH, Flinn BD, Dogan S, Mancl LA. A comparative evaluation of the translucency of zirconias and lithium disilicate for monolithic restorations. *J Prosthet Dent.* 2016; 116(2): 257-63.
- 40.** Nassary Zadeh P, Lümckemann N, Sener B, Eichberger M, Stawarczyk B. Flexural strength, fracture toughness, and translucency of cubic/tetragonal zirconia materials. *J Prosthet Dent.* 2018; 120(6): 948-54.
- 41.** Bonfante EA, Coelho PG. A critical perspective on mechanical testing of implants and prostheses. *Adv Dent Res.* 2016; 28(1): 18-27.
- 42.** Zhang Y, Sailer I, Lawn BR. Fatigue of dental ceramics. *J Dent.* 2013; 41(12): 1135–47.
- 43.** Martins LM, Lorenzoni FC, Farias BC, Lopes LDS, Bonfante G, Rubo, JH. Comportamento biomecânico das cerâmicas odontológicas: revisão. *Cerâmica.* 2010; 56(338): 148-55.
- 44.** Zhang Y, Song JK, Lawn BR. Deep-penetrating conical cracks in brittle layers from hydraulic cyclic contact. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2005; 73(1): 186-93.
- 45.** Rudas M, Bush M. Evolution of subsurface radial cracks in bi-material structures undergoing indentation loading. *Eng Anal Bound Elem.* 2007; 31: 66-74.
- 46.** Zhang Y, Kim JW, Bhowmick S, Thompson VP, Rekow ED. Competition of fracture mechanisms in monolithic dental ceramics: flat model systems. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2009; 88(2): 402-11.
- 47.** Guess PC, Zhang Y, Kim JW, Rekow ED, Thompson VP. Damage and reliability of Y-TZP after cementation surface treatment. *J Dent Res.* 2010; 89(6): 592-6.
- 48.** Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Shahramian K, Hupa L, Donovan TE, Vallittu P et al. Impact of gastric acidic challenge on surface topography and optical properties of monolithic zirconia. *Dent Mater.* 2015; 31(12): 1445-52.
- 49.** Kelly JR, Rungruanganunt P, Hunter B, Vailati F. Development of a clinically validated bulk failure test for ceramic crowns. *J Prosthet Dent.* 2010; 104(4): 228-38.
- 50.** Longhini D, Rocha C, de Oliveira LT, Olenscki NG, Bonfante EA, Adabo GL. Mechanical behavior of ceramic monolithic systems with different thicknesses. *Oper Dent.* 2019; 44(5): e244-53.
- 51.** Nakamura K, Harada A, Inagaki R, Kanno T, Niwano Y, Milleding P et al. Fracture resistance of monolithic zirconia molar crowns with reduced thickness. *Acta Odontol Scand.* 2015; 73(8): 602-8.

- 52.** Chun EP, Anami LC, Bonfante EA, Bottino MA. Microstructural analysis and reliability of monolithic zirconia after simulated adjustment protocols. *Dent Mater.* 2017; 33(8): 934-43.
- 53.** Machry RV, Cadore-Rodrigues AC, Borges ALS, Pereira GKR, Kleverlaan CJ, Venturini AB et al. Fatigue resistance of simplified CAD-CAM restorations: Foundation material and ceramic thickness effects on the fatigue behavior of partially- and fully-stabilized zirconia. *Dent Mater.* 2021; 37(4): 568-77.
- 54.** Pereira GKR, Guilardi LF, Dapieve KS, Kleverlaan CJ, Rippe MP, Valandro LF. Mechanical reliability, fatigue strength and survival analysis of new polycrystalline translucent zirconia ceramics for monolithic restorations. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2018; 85: 57-65.
- 55.** Qasim T, Ford C, Bongue-Boma M, Bush M, Hu XZ. Effect of coating thickness on crack initiation and propagation in non-planar bi-layers. *Mater Sci Eng A- Struct Mater.* 2006; 419: 189-95.
- 56.** Yucel MT, Yondem I, Aykent F, Eraslan O. Influence of the supporting die structures on the fracture strength of all-ceramic materials. *Clin Oral Investig.* 2012; 16(4): 1105-10.
- 57.** Thompson JY, Stoner BR, Piascik JR, Smith R. Adhesion/cementation to zirconia and other non-silicate ceramics: where are we now? *Dent Mater.* 2011; 27(1): 71-82.
- 58.** Kosmac T, Oblak C, Jevnikar P, Funduk N, Marion L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. *Dent Mater.* 1999; 15(6): 426-33.
- 59.** Curtis AR, Wright AJ, Fleming GJ. The influence of surface modification techniques on the performance of a Y-TZP dental ceramic. *J Dent.* 2006; 34(3): 195-206.
- 60.** Guazzato M, Quach L, Albakry M, Swain MV. Influence of surface and heat treatments on the flexural strength of Y-TZP dental ceramic. *J Dent.* 2005; 33(1): 9-18.
- 61.** Sulaiman TA, Abdulmajeed AA, Shahramian K, Lassila L. Effect of different treatments on the flexural strength of fully versus partially stabilized monolithic zirconia. *J Prosthet Dent.* 2017; 118(2): 216-20.