

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE**

**Zayna Alzira Fonseca Godinho**

**Efeito da Caracterização Extrínseca e Quantidades de Queimas no  
Comportamento Mecânico e Superficial de uma Cerâmica de  
Silicato de Lítio Reforçada com Zircônia**

Governador Valadares

2025

**Zayna Alzira Fonseca Godinho**

**Efeito da Caracterização Extrínseca e Quantidades de Queimas no  
Comportamento Mecânico e Superficial de uma Cerâmica de  
Silicato de Lítio Reforçada com Zircônia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde, da Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Governador Valadares, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Aplicadas à Saúde, área de concentração Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Jean Soares Miranda

Governador Valadares

2025

Godinho, Zayna .

Efeito da Caracterização Extrínseca e Quantidades de Queimas no Comportamento Mecânico e Superficial de uma Cerâmica de Silicato de Lítio Reforçada com Zircônia / Zayna Godinho. -- 2025.  
32 f. : il.

Orientador: Jean Soares Miranda

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Avançado de Governador Valadares, Faculdade de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em Clínica Odontológica, 2025.

1. Silicato de lítio reforçada com Zircônia. 2. pigmentação extrínseca. 3. queimas. 4. cerâmica.. I. Soares Miranda, Jean , orient.  
II. Título.

**Zayna Alzira Fonseca Godinho**

**Efeito da Caracterização Extrínseca e Quantidades de Queimas no  
Comportamento Mecânico e Superficial de uma Cerâmica de Silicato de Lítio Reforçada com Zircônia**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Aplicadas à Saúde. Área de concentração: Biociências.

Aprovada em 24 de janeiro de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

**Doutor. Jean Soares Miranda** - Orientador

Universidade Federal de Juiz de Fora

**Doutor. Cleidiel Aparecido Araújo Lemos**

Universidade Federal de Juiz de Fora

**Doutora. Marina Amaral**

Universidade de Taubaté

Juiz de Fora, 28/12/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Jean Soares Miranda, Servidor(a)**, em 24/01/2025, às 10:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Cleidiel Aparecido Araujo Lemos, Servidor(a)**, em 24/01/2025, às 10:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Marina Amaral, Usuário Externo**, em 25/01/2025, às 14:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2174527** e o código CRC **1442E1A2**.

---

Dedico este trabalho à ao meu esposo Carlos Alexandre pelo companheirismo compreensão e amor incondicional que me sustentaram em cada passo dessa jornada. Aos meus filhos, Alexandre e Alice, fonte de motivação e inspiração, dedico não apenas esse trabalho, mas todo esforço e superação que ele representa.

Amo vocês imensamente!

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar e iluminar em todos os momentos da minha vida e por sempre colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas.

Agradeço ao meu amado marido, Carlos Alexandre, meu companheiro de vida, por sonhar meu sonho e dedicar-se comigo à sua realização, com carinho e empenho. Aos meus filhos, Alexandre e Alice, razão do meu viver, por serem minha maior fonte de inspiração, alegria e amor.

À minha família, pelo apoio e incentivo, em especial à minha mãe, pelo exemplo de força, determinação e resiliência que carrego comigo.

À minha amiga Alexa, pela amizade, suporte e motivação para seguir em frente. Agradeço carinhosamente ao meu orientador, Professor Jean Soares Miranda, pela disponibilidade, comprometimento e dedicação. Sou grata não apenas pelos valiosos ensinamentos transmitidos ao longo da minha formação, que vão além do mestrado, mas também pelo apoio, confiança e amizade que construímos.

Ao professor Ronaldo Luís Almeida de Carvalho, agradeço pelo carinho e colaboração neste trabalho.

Aos professores Celidiel Aparecido Araújo Lemos e Marina Amaral, minha admiração e gratidão pelas valiosas contribuições na realização desta pesquisa, por aceitarem o convite para compor a banca examinadora e por dedicarem seu tempo à leitura desta dissertação. Muito obrigada!"

Agradeço a todos os professores que compõem o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde, pelos ensinamentos fornecidos no decorrer das disciplinas ministradas.

Aos colegas e amigos que tornaram os momentos desafiadores mais leves e as conquistas ainda mais valiosas. Em especial à querida Ismênia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante o meu mestrado.

À instituição da Universidade Federal de Juiz de Fora – Campus Governador Valadares, pelo ensino de qualidade e incentivo à ciência, devolvendo à população parte daquilo que tem sido investido.

À todos, meus sinceros agradecimentos!

Este trabalho é fruto da fé e da perseverança ao longo desta jornada.

“Tudo parece impossível até que seja feito”.

(Nelson Mandela)

## RESUMO

Esta pesquisa avaliou a rugosidade, resistência à flexão biaxial e dureza de cerâmicas de silicato de lítio reforçada por zircônia (ZLS) após a aplicação de pigmento para caracterização extrínseca e os respectivos processos de queima. Foram confeccionados 30 discos de ZLS, conforme a ISO 6872, distribuídos em três grupos (n=10) com diferentes protocolos de caracterização: controle (Co), no qual foi realizada apenas uma queima de cristalização e uma queima após a aplicação manual do glaze (totalizando duas queimas); pigmentado (St), submetido às queimas de cristalização, aplicação do pigmento e glaze (totalizando três queimas); e pigmentado com queima de correção (St+Fi), no qual, além das queimas realizadas para o Grupo St, foi realizada uma queima adicional para simulação de correção da pigmentação (totalizando quatro queimas). A rugosidade (Ra) foi medida no centro de cada amostra com um rugosímetro (0,25 mm cutoff; 0.5 mm/s), a resistência à flexão biaxial foi aferida em uma máquina de ensaio universal (1000 kgf, 1 mm/min), e a dureza foi determinada por endentação Vickers (10 s, 50 g, HV 0.050 / 490,4 mN). Os resultados mostraram que a caracterização extrínseca aumentou significativamente a rugosidade superficial nos grupos pigmentados em comparação ao controle ( $p < 0,01$ ), embora o número de ciclos de queima não tenha influenciado essa propriedade. Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas na resistência à flexão biaxial ( $p = 0,57$ ) e na dureza Vickers ( $p = 0,06$ ) entre os grupos. Conclui-se que a cerâmica ZLS apresenta estabilidade mecânica, mesmo após a aplicação de pigmentos e queimas adicionais, sendo adequada para correções estéticas sem comprometer sua funcionalidade ou durabilidade.

**Palavras-chave:** Silicato de lítio reforçada com Zircônia, pigmentação extrínseca, queimas, cerâmica.

## ABSTRACT

This study evaluated the roughness, biaxial flexural strength and hardness of zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS) ceramics after the application of pigment for extrinsic characterization and the respective firing processes. Thirty ZLS discs were manufactured, according to ISO 6872, and distributed into three groups (n=10) with different characterization protocols: control (Co), in which only one crystallization firing and one firing after manual glaze application were performed (totaling two firings); pigmented (St), subjected to crystallization firings, pigment application and glaze (totaling three firings); and pigmented with correction firing (St+Fi), in which, in addition to the firings performed for the St Group, an additional firing was performed to simulate pigmentation correction (totaling four firings). Roughness (Ra) was measured at the center of each sample with a roughness tester (0.25 mm cutoff; 0.5 mm/s), biaxial flexural strength was measured in a universal testing machine (1000 kgf, 1 mm/min), and hardness was determined by Vickers indentation (10 s, 50 g, HV 0.050/490.4 mN). The results showed that extrinsic characterization significantly increased surface roughness in the pigmented groups compared to the control ( $p < 0.01$ ), although the number of firing cycles did not influence this property. No statistically significant differences were found in biaxial flexural strength ( $p = 0.57$ ) and Vickers hardness ( $p = 0.06$ ) between the groups. It is concluded that ZLS ceramics present mechanical stability, even after the application of pigments and additional firings, being suitable for aesthetic corrections without compromising their functionality or durability.

**Keywords:** Lithium silicate reinforced with Zirconia, extrinsic pigmentation, firing, ceramic.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	- Delineamento da metodologia aplicada na pesquisa.....	17
Figura 2	- Blocos de cerâmica de silicato de lítio reforçado com zircônia (Celtra Duo, Dentsply Syrona).....	18
Figura 3	- Confeção dos discos cerâmicos. A) Blocos de cerâmica de silicato de lítio reforçado com zircônia, acoplados à dispositivo metálico de outra cerâmica CAD/CAM para facilitar o arredondamento em lixadeira; B) lixadeira Politriz Metalográfica de Velocidade Variável PVV; C) máquina de corte de precisão CutMaster.....	19
Figura 4	- Espessura final do disco de cerâmica de silicato de lítio reforçado com zircônia.....	20
Figura 5	- Aferição da rugosidade A) Rugosímetro SurfTest B) Análise da rugosidade .....	22
Figura 6	- Teste de resistência a flexão biaxial .....	23

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Materiais e composição dos produtos utilizados nos experimentos.....	17
Tabela 2	- Descrição dos tratamentos térmicos aplicados nas amostras .....	21
Tabela 3	- Valores médios e desvio padrão de rugosidade (Ra), resistência à flexão biaxial e dureza Vickers para todos os grupos avaliados..	25

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>15</b>
<b>3.</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Delineamento experimental do estudo</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2</b>	<b>Materiais utilizados</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3</b>	<b>Confecção dos discos cerâmicos</b> .....	<b>18</b>
<b>4.4</b>	<b>Distribuição das amostras e técnicas de caracterização</b> .....	<b>20</b>
<b>4.5</b>	<b>Teste de rugosidade</b> .....	<b>22</b>
<b>4.6</b>	<b>Resistência a flexão biaxial</b> .....	<b>22</b>
<b>4.7</b>	<b>Dureza</b> .....	<b>24</b>
<b>4.8</b>	<b>Análise Estatística</b> .....	<b>24</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADO</b> .....	<b>25</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise da rugosidade</b> .....	<b>25</b>
<b>5.2</b>	<b>Análise da resistência a flexão biaxial</b> .....	<b>25</b>
<b>5.3</b>	<b>Análise da Dureza</b> .....	<b>25</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>29</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>30</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por tratamentos restauradores estéticos e funcionais se torna cada vez mais frequente na odontologia devido a exigência do paciente e ao crescente número de materiais e técnicas disponíveis para reabilitação protética (MIRANDA<sup>b</sup> *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020; CORADO *et al.*, 2022). Atualmente, a confecção de próteses dentárias tem utilizado dos sistemas CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacturing), os quais podem promover bons resultados finais aliado a facilidade de execução. Para utilização desse sistema, foram desenvolvidos uma ampla gama de materiais cerâmicos monolíticos, ou seja, de blocos présinterizados que minimizam a ocorrência de falhas (ANDRADE *et al.*, 2024; CORADO *et al.*, 2022). Em geral, essas cerâmicas apresentam boa resistência, adequada tenacidade, propriedades estéticas favoráveis e confiabilidade para aplicações em estruturas protéticas (CORADO *et al.*, 2022; MANZIUC *et al.*, 2023).

As cerâmicas podem ser classificadas de acordo com seu conteúdo, sendo divididas em cerâmicas vítreas, como as feldspáticas, leucitas, silicato e dissilicato de lítio, e cerâmicas policristalinas, entre as quais se destaca a zircônia (ANDRADE *et al.*, 2024). Enquanto as cerâmicas vítreas, compostas por uma matriz vítrea e, eventualmente, um conteúdo cristalino, apresentam maior estética, as cerâmicas policristalinas possuem propriedades mecânicas superiores, como alta resistência e tenacidade, tornando-se menos propensas a lascamentos ou fraturas (DAL PIVA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020). No entanto, restaurações monolíticas de zircônia podem apresentar desafios clínicos, como o desgaste do dente antagonista e a dificuldade de mimetização da dentição natural (SILVA *et al.*, 2020). Diante disso, as vitrocerâmicas modificadas por conteúdo cristalino, que contêm cristais dispersos em sua matriz vítrea, como a zircônia (~10%) (BISPO, 2015), têm sido preferidas por aliarem boas propriedades mecânicas e estéticas (GRACIS *et al.*, 2015; NISHIOKA *et al.*, 2018; DAL PIVA *et al.*, 2020). Entre essas, destacam-se as cerâmicas de silicato de lítio reforçadas por zircônia (ZLS), que apresentam resistência mecânica aprimorada, comportamento de desgaste adequado e estética satisfatória (ANDRADE *et al.*, 2024; SILVA *et al.*, 2020; MANZIUC *et al.*, 2023). Além disso, possuem capacidade de adesão a cimentos resinosos, uma vantagem em relação às cerâmicas policristalinas (ANDRADE *et al.*, 2024), além de serem facilmente fresadas e

possibilitarem um bom acabamento superficial devido à sua alta concentração de matriz vítrea (SILVA *et al.*, 2020).

Porém, por ser um material disponível apenas para tecnologia CAD/CAM, seu bloco para fresagem da restauração pode requer uma caracterização extrínseca, que é clinicamente conhecida por técnicos e dentistas como “maquiagem”, para melhorar a estética (DAL PIVA *et al.*, 2020). Durante o processo para a realização da caracterização extrínseca as cerâmicas podem exigir mais de um ciclo de queima antes da obtenção da restauração final. As queimas são realizadas eventualmente para corrigir o contorno, a cor, reaplicação de material após um ajuste oclusal necessário ou até mesmo para a aplicação do glaze (SUBASI *et al.*, 2022; DAL PIVA *et al.*, 2020; MIRANDA <sup>b</sup> *et al.*, 2020). Esse processo realizado para correções, pode impactar na integridade do material causando porosidades estruturais e mudanças na estrutura cristalina, causando alterações das propriedades óticas e mecânicas da cerâmica, como a resistência à flexão e rugosidade da superfície. Essas alterações estruturais podem resultar em consequências clínicas, assim como foi relatado para outras cerâmicas vítreas (BARCELLOS *et al.*, 2022; SUBASI *et al.*, 2022; MIRANDA <sup>a</sup> *et al.*, 2020; MIRANDA <sup>b</sup> *et al.*, 2020).

Contudo, estudos sobre o comportamento mecânico e de superfície das cerâmicas ZLS ainda são escassos, fazendo-se necessário a realização de pesquisas que investiguem fatores como a rugosidade superficial, resistência e dureza, das cerâmicas ZLS após os seus processos de queima e de aplicação do pigmento para caracterização extrínseca.

## 2. OBJETIVO

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito da caracterização extrínseca e das queimas subsequentes no comportamento mecânico e superficial de uma cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia.

### 2.2 Objetivos específicos

Avaliar em grupos compostos, por uma cerâmica ZLS, o efeito da aplicação de pigmento extrínseco e das queimas (de caracterização e/ou correção), nas seguintes propriedades:

- A) Rugosidade superficial Ra;
- B) Resistência a flexão biaxial do conjunto;
- C) Dureza.

### 3. HIPÓTESES

A realização da caracterização extrínseca e a quantidade de ciclos de queima sobre as cerâmicas ZLS não influenciarão as seguintes propriedades e condições:

- A) Rugosidade superficial Ra;
- B) Resistência a flexão biaxial do conjunto;
- C) Dureza.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Delineamento experimental do estudo

A figura 1 reflete o delineamento experimental apresentado:

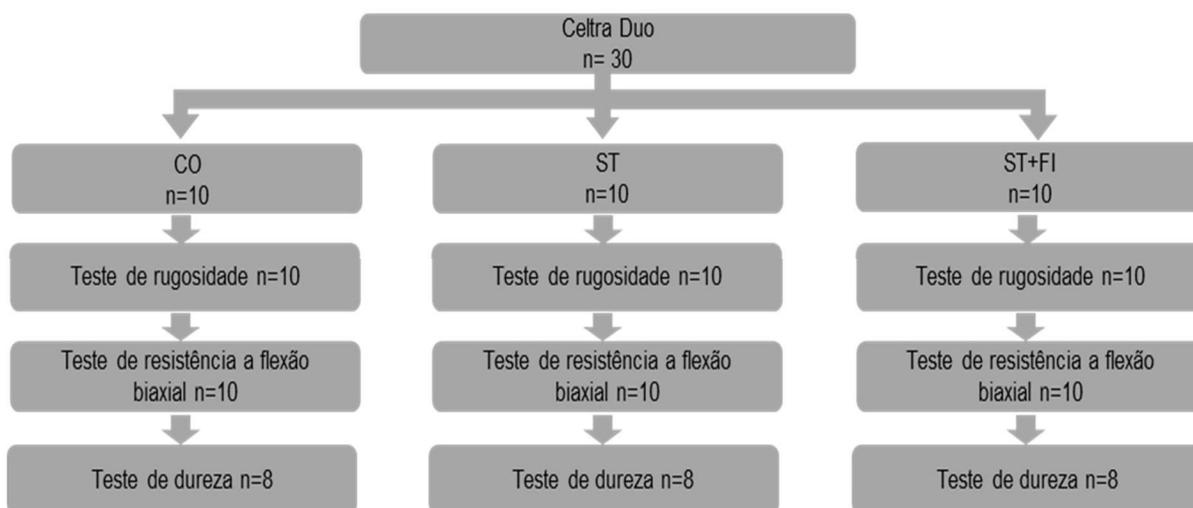


Figura 1 - Delineamento da metodologia aplicada na pesquisa. Fonte: Elaborada pela autora (2025)

### 4.2 Materiais utilizados

Os materiais utilizados nessa pesquisa, bem como suas respectivas marcas comerciais e composição estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Materiais e composição dos produtos utilizados nos experimentos

Marca Comercial	Tipo do Material	Fabricante	Composição
Celtra Duo	Cerâmica de silicato de lítio reforçada com zircônia	Dentsply Syrona, Pirassununga, SP, Brasil	SiO <sub>2</sub> ; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; Li <sub>2</sub> O; K <sub>2</sub> O; ZrO <sub>2</sub> ; CeO <sub>2</sub> ; Na <sub>2</sub> O; Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ; V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub> ; Cr; Cu; Fe; Mg; Mn; Si; Zn; Ti; Zr e Al.

CeltraCeram	Pigmento para revestimento de restaurações de cerâmica	Dentsply Syrona	Dióxido de Silicene, Óxido de Lítio, Óxido de Potássio, Óxido de Alumínio, Óxido de Sódio, Pentóxido de Fósforo, Dióxido de Zircônio, Óxido de Cério, Trióxido de Boro, Óxido de Cálcio, Óxido de Bário, Óxido de Magnésio, Óxido de Antimônio, Óxido de Térbio, Dióxido de Titânio, Óxido de Estanho, Flúor, QBK Fósforo, Óxidos e Pigmentos.
Universal Stains and Glaze	Pasta de glaze	Dentsply Sirona	Óxidos, glicerina, butanodiol e polivinil pirrolidina

Fonte: Elaborada pelo autora.

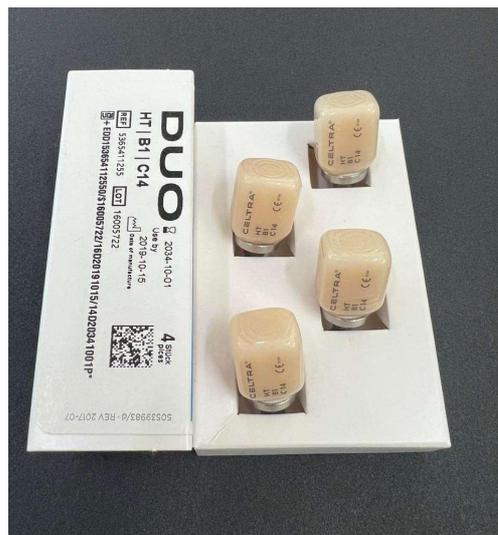


Figura 2 – Blocos de cerâmica de silicado de lítio reforçado com zircônia (Celtra Duo, Dentsply Syrona).

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

#### 4.3 Confeção dos discos cerâmicos

As amostras foram confeccionadas à partir de uma cerâmica ZLS, Celtra Duo (Dentsply Syrona, Pirassununga, SP, Brasil). Os blocos CAD/CAM desse material foram arredondados em lixadeira (Politriz Metalográfica de Velocidade Variável PVV, Teclago, SP, Brasil), com lixa de carbeto de silício de granulação 80 (Norton,

Guarulhos, SP, Brasil), em forma de cilindros com 12mm de diâmetro. Posteriormente foram fatiados em máquina de corte (CutMaster, Contagem, MG, Brasil) e seccionados com auxílio de disco diamantado, dupla face, (Extec High concentration, Extec, Enfield, CT, EUA) sob resfriamento, para obtenção de 30 discos finais com as dimensões de 12 mm de diâmetro X 1,2 mm de espessura (ISO 6872/2008). Em seguida, os discos tiveram ambas as faces polidas (Politriz Metalográfica de Velocidade Variável PVV, Teclago, SP, Brasil) em lixas de granulação 400, 800 e 1200 (Norton, Guarulhos, SP, Brasil). Por fim, foram lavados em banho ultrassônico (Lavadora Ultrassônica Cristófoli, Campo Mourão, Paraná, Brasil) durante oito minutos em álcool isopropílico, tendo a face a ser caracterizada voltada para baixo durante esse procedimento.



Figura 3 — Confeção dos discos cerâmicos. A) Blocos de cerâmica de silicado de lítio reforçado com zircônia, acoplados à dispositivo metálico de outra cerâmica CAD/CAM para facilitar o arredondamento em lixadeira; B) lixadeira Politriz Metalográfica de Velocidade Variável PVV; C) máquina de corte de precisão CutMaster.

Fonte: Elaborada pela autora (2025).



Figura 4 — Espessura final do disco de cerâmica de silicato de lítio reforçado com zircônia.

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

#### 4.4 Distribuição das amostras e técnicas de caracterização

Os discos cerâmicos foram distribuídos aleatoriamente entre 3 diferentes grupos (n=10 ) de acordo com o tratamento de superfície para caracterização extrínseca: controle (Co), no qual não foi realizado nenhum tipo de caracterização extrínseca, apenas uma queima de cristalização e uma queima após a aplicação manual do glaze (total de queimas: duas ); pigmentado (St), no qual foram realizadas as queimas de cristalização, de aplicação do pigmento, e glaze (total de queimas: três); e pigmento com queima de correção ( St+Fi), no qual a cerâmica foi submetida, além das queimas realizadas para o Grupo St, a uma queima a mais para simulação de correção da pigmentação (totalizando quatro queimas).

Portanto, inicialmente todos os discos foram levados ao interior de fornos cerâmicos para o processo de cristalização da cerâmica, sob temperatura final de 820°C, que seguindo os parâmetros recomendado pelo fabricante (Tabela 2).

Uma vez que a cerâmica tenha esfriado até a temperatura ambiente, o processo continuou de forma distinta para cada grupo. O grupo controle (Co) recebeu uma fina camada de glaze, aplicada uniformemente por um operador calibrado. Para isso, as

amostras foram posicionadas em uma bandeja lisa (G289, Golgran, SP, Brasil) e apoiadas com pinça anatômica (Golgran, SP, Brasil). O glaze Universal Stains and Glaze (Dentsply Sirona, SP, Brasil) foi aplicado com um pincel fino (C508/000 Castelo, SP, Brasil) em uma das superfícies do disco.

Para os grupos St e St+Fi, a caracterização extrínseca foi realizada de forma similar. As amostras foram posicionadas em uma bandeja lisa (G289, Golgran, SP, Brasil) e apoiadas com uma pinça anatômica (Golgran, SP, Brasil). Inicialmente, o pigmento Celtra Ceram (Dentsply Sirona, SP, Brasil) foi aplicado uniformemente em uma das superfícies do disco com um pincel fino (C508/000 Castelo, SP, Brasil), seguido pelo ciclo de queima correspondente (Tabela 2). Em seguida, o glaze Universal Stains and Glaze (Dentsply Sirona, SP, Brasil) foi aplicado na mesma superfície, com nova queima para finalização.

As queimas de fixação dos pigmentos e de simulação de correção foram realizadas a uma temperatura máxima de 700°C, assim como a queima do glaze, todas respeitando o ciclo recomendado pelo fabricante (Tabela 2). Dessa forma, o grupo St passou por três queimas: cristalização, fixação do pigmento e queima do glaze. Já o grupo St+Fi passou por quatro queimas: cristalização, fixação do pigmento, queima do glaze e uma queima adicional para simular uma correção de forma, sem aplicação de nova camada de material.

Tabela 2 - Descrição dos tratamentos térmicos aplicados nas amostras.

<b>Celtra Duo</b>	Temperatura Inicial (°C)	Taxa de Aumento de Temperatura (°C/min)	Temperatura Final °C	Tempo de espera na temperatura final (min:seg)
Queima de cristalização	500 °C	55 °C/min	820 °C	1:30
Queima de pigmentação/glaze	500 °C	55 °C/min	700 °C	1:30

Fonte: Manual de utilização da Celtra Cad e Duo (Dentsply Syrona, Pirassununga, SP, Brasil).

#### 4.5 Teste de rugosidade

Todas as 10 amostras de cada grupo foram utilizadas para realização do teste de rugosidade. As aferições ocorreram realizadas por um rugosímetro (Surftest SJ 310, Mitutoyo) no centro da superfície de cada amostra com 0,25 mm cutoff e velocidade de 0.5 mm/s para obtenção do valor da rugosidade média (Ra) de cada amostra em  $\mu\text{m}$ .

Os valores obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva (média e desvio padrão) e inferencial, mediante o teste paramétrico de análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

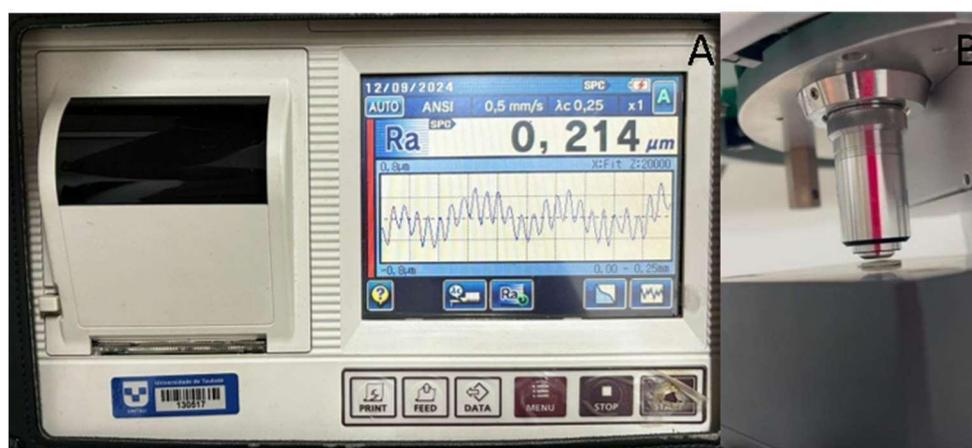


Figura 5 – Aferição da rugosidade A) Rugosímetro Surftest B) Análise da rugosidade. Fonte: Elaborada pela autora (2025).

#### 4.6 Resistência a flexão biaxial

O teste monotônico sucedeu em todas as 10 amostras de todos os grupos dessa pesquisa. Para a determinação da resistência à flexão, a amostra foi posicionada em uma base circular metálica com três esferas de 3,2 mm de diâmetro, equidistantes uma das outras, formando um plano (ISO 6872/2008). Uma ponta cilíndrica de extremidade plana de 1,6 mm de diâmetro foi fixada a uma máquina de ensaio (MBio BioPDI-1000, São Carlos, SP, Brasil), e a carga foi aplicada utilizando célula de carga de 1000 kgf e velocidade de 1 mm/min até ocorrer a fratura da amostra sendo os valores obtidos em Newton (N). Durante o teste de flexão biaxial, a face caracterizada

da amostra estará sempre voltada para o lado de tração.

As seguintes equações foram utilizadas de acordo com as diretrizes da ISO 6872, para o cálculo da resistência à flexão biaxial das amostras:

$$S = -0,2387 P \left( X - \frac{Y}{d^2} \right)$$

Onde S é a tensão máxima de tração em Pascal, P é a carga total aplicada para se provocar a fratura, em Newton, e d é a espessura da amostra na origem da fratura, em mm. X e Y foram determinados pelas equações:

$$X = (1 + \nu) \log \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2 + \left[ \frac{1-\nu}{2} \right] \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2$$

$$Y = (1 + \nu) \left[ 1 + \ln + \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2 \right] + (1-\nu) \left( \frac{r_2}{r_3} \right)^2$$

Onde  $\nu$  é o coeficiente de Poisson (0,23 — NISHIOKA *et al.*, 2018);  $r_1$  é o raio do suporte circular, em mm,  $r_2$  é o raio da área sob carga em mm;  $r_3$  é o raio da amostra, em mm;  $d$  é a espessura da amostra, em mm (RAMOS *et al.*, 2016).

Os valores obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva (média e desvio padrão) e inferencial, mediante o teste paramétrico de análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey ( $\alpha=0,05$ ).

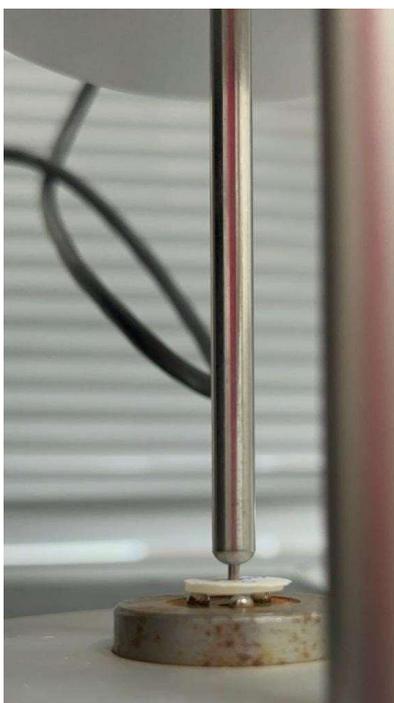


Figura 6 – Teste de resistência a flexão biaxial. Fonte: Elaborada pela autora (2025).

#### 4.7 Dureza

A realização do teste de dureza foi conduzida utilizando 8 amostras de cada grupo, com a superfície caracterizada previamente exposta. As indentações Vickres foram executadas no centro de cada fragmento cerâmico utilizando um durômetro (Shimadzu MicroHardness Tester HMV G20, Shimadzu Corporation, Duisburg, Alemanha) durante 10 segundos, com a carga de 50 g (HV 0.050 / 490,4 mN) (SILVA-JUNIOR *et al.*, 2019). A análise estatística foi realizada pelo teste ANOVA seguido de teste post-hoc de Tukey para comparação de médias ( $\alpha=0,05$ ).

#### 4.8 Análise Estatística

Após a mensuração de cada um dos testes específicos, os dados foram submetidos à análise de normalidade. Como apresentaram distribuição paramétrica, foi aplicada a ANOVA de um fator, com o objetivo de avaliar a interação entre a quantidade de queimas e a caracterização extrínseca para cada uma das análises simuladas. Para a comparação dos resultados de rugosidade entre os diferentes grupos experimentais, utilizou-se o teste de Tukey, com um nível de confiança de 95%.

## 5. RESULTADO

### 5.1 Análise da rugosidade

Conforme demonstrado na tabela 3, os valores indicaram uma diferença estatisticamente significativa no grupo Co em relação aos demais grupos ( $p < 0,01$ ). Por outro lado, os grupos caracterizados (St e St+Fi) não apresentaram diferenças significativas entre si, independentemente do número de ciclos de queima.

Tabela 3 – Valores médios e desvio padrão de rugosidade (Ra), resistência à flexão biaxial e dureza Vickers para todos os grupos avaliados.

	Rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ )	Resistência (MPa)	Dureza Vickers
Co	$0,19 \pm 0,02$ A	$369,1 \pm 94,7$ A	$249,4 \pm 107,2$ A
St	$0,22 \pm 0,02$ B	$341,2 \pm 71,0$ A	$255,7 \pm 237,8$ A
St+Fi	$0,23 \pm 0,01$ B	$331,6 \pm 76,6$ A	$356,6 \pm 222,4$ A
p-valor	$< 0,01$	0,57	0,06

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2 Análise da resistência a flexão biaxial

De acordo com os resultados (tabela 3) obtidos na ANOVA de um fator, não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos em relação à resistência à flexão biaxial ( $p = 0,57$ ). Esse achado sugere que nem a composição superficial, maquiagem, nem o número de ciclos de queima de correção exercem influência significativa sobre a resistência mecânica dos materiais avaliados.

### 5.3 Análise da Dureza

Os resultados da análise estatística (tabela 3) não indicaram diferenças significativas entre os grupos avaliados em relação aos valores de dureza Vickers ( $p = 0,06$ ). Esse resultado sugere que a quantidade de ciclos de queima e o uso de caracterização superficial por meio de maquiagem não têm impacto significativo nas propriedades de dureza do material.

## 6 DISCUSSÃO

Este estudo avaliou os efeitos da caracterização extrínseca e do número de ciclos de queima nas propriedades mecânicas e superficiais da cerâmica ZLS. As análises das propriedades de rugosidade, resistência à flexão biaxial e dureza, escolhidas para essa pesquisa, são de grande relevância clínica e científica para o desenvolvimento e avaliação de restaurações dentárias monolíticas uma vez que, essas características impactam diretamente a funcionalidade, estética e longevidade das restaurações, influenciando sua performance no ambiente bucal (MANZIUC *et al.*, 2023).

Com base nos resultados obtidos, constatou-se que a realização da caracterização extrínseca influenciou na rugosidade superficial das cerâmicas ZLS. Assim, a primeira hipótese nula foi rejeitada. O teste de rugosidade superficial revelou uma diferença estatisticamente significativa no grupo controle em comparação aos demais grupos ( $p < 0,01$ ). Esses achados estão alinhados com estudos de mais autores como Barcellos *et al.* (2022), Miranda <sup>a</sup> *et al.* (2020) e Lima *et al.* (2023), que também indicam que a aplicação de uma pigmentação extrínseca sobre a cerâmica para caracterizá-la pode aumentar a rugosidade da superfície em diferentes tipos de cerâmica, fato que nem sempre é favorável para uma restauração, pois é sabido que uma superfície mais lisa é menos propensa ao acúmulo de biofilme, à pigmentação e ao desgaste de substratos antagonista (AL JOHANI *et al.*; 2024).

Embora os testes estatísticos indiquem uma diferença significativa nos valores de rugosidade, essa variação é relativamente pequena. Clinicamente, isso sugere que a aplicação da pigmentação extrínseca pode não comprometer a viabilidade da técnica em tratamentos odontológicos. Por outro lado, o número de ciclos de queima aplicados às cerâmicas ZLS caracterizadas com pigmento não teve impacto significativo na rugosidade. Os grupos experimentais (St e St+Fi) não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si, independentemente do número de ciclos, corroborando os achados de Miranda <sup>b</sup> *et al.* (2020). Esses autores, ao compararem grupos de cerâmicas de dissilicato de lítio pigmentadas e cristalizadas em queimas sucessivas, também observaram que a rugosidade não foi afetada por queimas repetidas. Contudo, resultados distintos foram relatados por outros estudos. Al Johani *et al.* (2024) demonstraram que queimas repetidas alteraram a topografia e o brilho de cerâmicas CAD/CAM de silicato de lítio totalmente cristalizadas; quando

essas são submetidas a aplicação de uma camada de glaze anteriormente aos processos de queima, embora essas alterações permanecessem dentro de valores considerados aceitáveis. De maneira semelhante, Andrade *et al.* (2024) observaram que o número de ciclos de queima influenciou a topografia da superfície, reduzindo a rugosidade de uma cerâmica ZLS de outra marca comercial (Suprinity, VITA, Bad Säckingen, Baden-Württemberg, Alemanha), esse efeito foi registrado ao utilizar um pigmento específico (VITA AKZENT Plus EFFECT STAINS; Color ES13; VITA Zahnfabrik, Bad Säckingen, Alemanha), com quatro ciclos de queima, em comparação com amostras submetidas a apenas dois ciclos.

Segundo Al Johani *et al.* (2024), a topografia de uma restauração cerâmica influencia suas propriedades estéticas, biológicas e mecânicas. No entanto, o teste de resistência à flexão biaxial demonstrou que a caracterização extrínseca e o número de ciclos de queima não afetam a resistência dos grupos desse estudo, validando a segunda hipótese nula. Estudos prévios corroboram esses achados, indicando que tratamentos de superfície e ajustes no protocolo de queima não comprometem a resistência mecânica das cerâmicas ZLS (DAL PIVA *et al.*, 2020; CAMPANELLI *et al.*, 2020; SUBASI *et al.*, 2022), o que é relevante, pois garante que intervenções estéticas não prejudicam a funcionalidade do material (ANDRADE *et al.*, 2024) e também sugere que uma estabilidade estrutural das cerâmicas ZLS diante de diferentes tratamentos (SILVA *et al.*, 2020).

No entanto, Barcellos *et al.* (2022) afirma que a pigmentação extrínseca reduz a resistência à flexão da cerâmica de dissilicato de lítio, embora não altere sua confiabilidade. Ainda sobre a mesma cerâmica, Miranda <sup>a</sup> *et al.* (2020) relataram que a aplicação de maquiagem gerou uma camada de vidro amorfo sobre a superfície cerâmica de dissilicato, responsável por diminuir a resistência à flexão biaxial, independentemente da técnica utilizada para aplicação. Apesar de as vitrocerâmicas de dissilicato de lítio apresentarem maior resistência à flexão quando comparadas às cerâmicas ZLS (ZARONE *et al.*, 2021; MANZIUC *et al.*, 2023), a caracterização superficial e os ciclos adicionais de queima podem então ser considerados procedimentos seguros do ponto de vista mecânico para as cerâmicas ZLS. Portanto, essa segurança difere das observações já feitas para as cerâmicas de dissilicato de lítio anteriormente (DAL PIVA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020).

Segundo Miranda <sup>b</sup> *et al.* (2020) ao analisarem propriedades mecânicas das vitrocerâmicas de dissilicato de lítio constataram que parâmetros de nanodureza não

foram afetados pela caracterização e quantidades de queimas. O presente estudo também não identificou alterações significativas entre os grupos, o que levou à aceitação da terceira hipótese nula e evidenciou a estabilidade do material. Esses achados também confirmam a viabilidade dos protocolos de maquiagem e ciclos adicionais de queima, que preservam as propriedades mecânicas essenciais para aplicações clínicas, como também destacado por Mavriqi et al. (2022).

Apesar disso, esta pesquisa apresenta algumas limitações. Não foram realizadas comparações com outras cerâmicas vítreas, nem análises microscópicas para verificar a origem e a propagação de trincas. Além disso, faltaram análises ópticas e testes de aderência microbiológica às cerâmicas ZLS. Considerando essas lacunas, futuros estudos conduzidos por nosso grupo de pesquisa devem incluir tais abordagens e expandir para investigações clínicas, com o objetivo de avaliar o desempenho a longo prazo da cerâmica ZLS, conforme sugerido por Subasi et al. (2022).

Os resultados deste estudo oferecem contribuições relevantes para a prática clínica e o desenvolvimento de restaurações dentárias monolíticas. A caracterização extrínseca e os protocolos de queima adicionais demonstraram ser intervenções seguras para a cerâmica ZLS, preservando suas propriedades mecânicas essenciais, como resistência à flexão biaxial e dureza, ao mesmo tempo em que mantêm sua estabilidade estrutural. Esses achados reforçam o potencial clínico da ZLS como uma opção confiável e versátil em odontologia restauradora.

## **7 CONCLUSÃO**

Este estudo concluiu que a caracterização extrínseca pode alterar a rugosidade superficial da cerâmica ZLS, enquanto o número de ciclos de queima não teve impacto nessa propriedade. No entanto, as outras propriedades avaliadas permaneceram inalteradas tanto pela aplicação do pigmento quanto pelas queimas repetidas. Esses resultados destacam a estabilidade mecânica da cerâmica ZLS, evidenciando sua adequação para procedimentos clínicos que envolvam correções estéticas e ajustes no protocolo de queima, sem prejuízo à funcionalidade ou à durabilidade do material.

## REFERÊNCIAS

AL-JOHANI, Hanan; HAIDER, Julfikar; SILIKAS, Nick; SATTERTHWAITE, Julian. Effect of repeated firing on the topographical, optical, and mechanical properties of fully crystallized lithium silicate-based ceramics. *Journal of Prosthetic Dentistry*, [s.l.], abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2024.01.006>.

ANDRADE, E. C.; et al. Effect of extrinsic pigmentation and multiple firing cycles on the properties of a zirconia-containing lithium silicate ceramic. *Journal of Prosthodontics*, [no prelo], 2024.

BARCELLOS, A. S. P. et al. Effect of staining on the mechanical, surface and biological properties of lithium disilicate. *Saudi Dental Journal*, v. 34, n. 2, p. 136-141, fev. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2021.12.007>.

BISPO, L. P. Cerâmicas odontológicas: vantagens e limitações da zircônia. *Revista Brasileira de Odontologia*, v. 72, n. 1/2, p. 24-29, jan./jun. 2015.

CAMPANELLI DE MORAIS, Dayana; ABU-IZZE, Fernanda de Oliveira; RIVOLI ROSSI, Natália; et al. Effect of consecutive firings on the optical and mechanical properties of silicate and lithium disilicate based glass-ceramics. *Journal of Prosthodontics*, [s.l.], dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jopr.13306>.

CELTRA DUO®. Disponível em: <https://bulario.dentsplysirona.com.br/C/celtra-cad-duo.pdf>.

CORADO, H. P. R.; SILVEIRA, P. H. P. M.; ORTEGA, V. L.; RAMOS, G. G.; ELIAS, C. N. Flexural strength of vitreous ceramics based on lithium disilicate and lithium silicate reinforced with zirconia for CAD/CAM. *International Journal of Biomaterials*, 2022, ID 5896511. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/5896511>.

DAL PIVA, A. M. O.; TRIBST, J. P. M.; WERNER, A.; ANAMI, L. C.; BOTTINO, M. A.; KLEVERLAAN, C. J. Three-body wear effect on different CAD/CAM ceramics staining durability. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, v. 103, 103579, 2020.

GRACIS, S.; THOMPSON, V. P.; FERENCZ, J. L.; SILVA, N. R. F. A.; BONFANTE, E. A. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *International Journal of Prosthodontics*, v. 28, n. 3, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 6872:2008, Dentistry—Ceramic materials. Geneva: ISO, 2008.

LIMA, Kaissa da Cunha; VIVANCO, Rocio Geng; RODRIGUES, Pedro Roberto Braz; CAETANO, Ana Lúcia Pereira; PIRES-DE-SOUZA, Fernanda de Carvalho Panzeri. Long-term effect of firing protocols on surface roughness and flexural strength of lithium disilicate glass-ceramic. *Brazilian Dental Journal*, v. 34, n. 5, p. 79-86, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-6440202305496>.

MANZIUC, Manuela; KUI, Andreea; CHISNOIU, Andrea; LABUNET, Anca; NEGUCIOIU, Marius; ISPAS, Ana; BUDURU, Smaranda. Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Ceramic in Digital Dentistry: A Comprehensive Literature Review of Our Current Understanding. *Medicina*, v. 59, n. 12, p. 2135, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/medicina59122135>.

MAVRIQI, Luan; VALENTE, Francesco; MURMURA, Giovanna; SINJARI, Bruna; MACRÌ, Monica; TRUBIANI, Oriana; CAPUTI, Sergio; TRAINI, Tonino. Lithium disilicate and zirconia reinforced lithium silicate glass-ceramics for CAD/CAM dental restorations: biocompatibility, mechanical and microstructural properties after crystallization. *Journal of Dentistry*, v. 119, 104054, abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104054>.

MIRANDA<sup>a</sup>, J. S.; BARCELLOS, A. S. P.; CAMPOS, T. M. B.; CESAR, P. F.; AMARAL, M.; KIMPARA, E. T. Effect of repeated firings and staining on the mechanical behavior and composition of lithium disilicate. *Dental Materials*, v. 36, p. 149-157, 2020.

MIRANDA<sup>b</sup>, J.S. *et al.* Effect of staining and repeated firing on the surface and optical properties of lithium disilicate. *J Esthet Restor Dent*. 2020 Jan;32(1):113-118. doi: 10.1111/jerd.12558.

NISHIOKA, G.; PROCHNOW, C.; FIRMINO, A.; AMARAL, M.; BOTTINO, M. A.; VALANDRO, L. F.; MELO, R. M. Fatigue strength of several dental ceramics indicated for CAD-CAM monolithic restorations. *Brazilian Oral Research*, v. 32, 2018.

RAMOS, N. C.; CAMPOS, T. M. B.; LA PAZ, I. S.; MACHADO, J. P. B.; BOYINO, M. A.; CESAR, P. F.; MELO, R. M. Microstructure characterization and SCG of newly engineered dental ceramics. *Dental Materials*, v. 32, n. 7, p. 870–878, 2016.

SILVA, L. H.; LIMA, E.; MIRANDA, R. B. P.; FAVERO, S. S.; LOHBAUER, U.; CESAR, P. F. Cerâmica dentária: uma revisão de novos materiais e métodos de processamento. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 2, n. 8, p. 50-72, 2020.

SILVA, E. M. D.; MAIA, J. N. D. S. M. D.; MITRAUD, C. G.; RUSSO, J. D. E. S.; POSKUS, L. T.; GUIMARÃES, J. G. A. Can whitening toothpastes maintain the optical stability of enamel over time? *Journal of Applied Oral Science*, São Paulo, v. 26, e20160460, 1 fev. 2018. DOI: 10.1590/1678-7757-2016-0460.

SILVA JUNIOR, M. F.; CRUZ, P. S. D.; BOZZI, A. C.; DAROZ, L. G. D.; SANTOS-DAROZ, C. B. D. Effect of bleaching agents and toothpastes on the enamel: an in situ study. *American Journal of Dentistry*, v. 32, n. 6, p. 288-292, dez. 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31920054/>

SUBASI, M. G.; ÇAKMAK, G.; SERT, M.; YILMAZ, B. Effect of multiple firings on surface roughness and flexural strength of CAD-CAM ceramics. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, v. 216, p. 1-8, ago. 2022.

ZARONE, Fernando; RUGGIERO, Gennaro; LEONE, Renato; BRESCHI, Lorenzo; LEUCI, Stefania; SORRENTINO, Roberto. Zirconia-reinforced lithium silicate (ZLS)

mechanical and biological properties: a literature review. *Journal of Dentistry*, v. 109, p. 103661, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2021.103661>. Acesso em: [data de acesso].