

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

Mestrado Integrado Em Medicina Dentária

AVALIAÇÃO DE DESGASTE DENTÁRIO EM REABILITAÇÕES CERÂMICAS: ABORDAGENS CLÍNICAS E LABORATORIAIS

Trabalho submetido por

Wanderson Carlos de Oliveira Ribeiro

para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Junho 2025

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

Mestrado Integrado Em Medicina Dentária

AVALIAÇÃO DE DESGASTE DENTÁRIO EM REABILITAÇÕES CERÂMICAS: ABORDAGENS CLÍNICAS E LABORATORIAIS

Trabalho submetido por

Wanderson Carlos de Oliveira Ribeiro

para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Trabalho orientado por

Profª. Doutora Ana Vieira

e coorientado por

Mestre Manuel Nobre

Junho 2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família e aos amigos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte desta caminhada.

De modo especial, aos meus filhos, José Augusto e Eduardo Lorenzo, que estiveram presentes em cada dia, partilhando comigo os desafios e vibrando com cada conquista. Que esta realização seja, para vós, um exemplo de coragem e determinação, e que nunca deixem de acreditar e lutar pelos vossos sonhos.

Lembro-me, com emoção, do dia em que sobrevoava o oceano Atlântico rumo à entrevista na Universidade Egas Moniz. Naquele momento, pensei nos meus antepassados que, em tempos passados, fizeram o caminho inverso — sem escolha, sem voz e sem condições dignas. A bravura deles, silenciosa e resiliente, ecoa até hoje e merece ser honrada.

A todos vós, que me antecederam, me apoiaram e me inspiram, deixo esta conquista como símbolo de gratidão, memória e esperança.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha sincera gratidão à minha orientadora, a Professora Doutora Ana Maria Vieira, por aceitar conduzir o meu trabalho. Foi uma dádiva tê-la como professora e como orientadora de uma pessoa tão competente e, também, generosa, sábia, bondosa, disposta. Sinto-me honrado. Agradeço também ao meu Co-Orientador, o mestre Manuel Nobre por integrar a equipe de orientação desta tese.

À Universidade Egas Moniz School of Health and Science por todo o conhecimento, apoio e oportunidades proporcionadas ao longo dessa jornada.

À minha família, alicerce de amor e esperança, por cada gesto, cada palavra e cada presença constante.

À minha amada esposa, Camila Ribeiro, companheira incansável desta jornada, pela ternura, pela fé em mim e pelo amor que me fortalece.

Aos meus filhos, Eduardo Lorenzo e José Augusto, que são a expressão mais pura da vida, inspiração diária e motivo maior de cada esforço.

Às nossas filhas de quatro patas, Kiara e Histamina, que, com o seu olhar sincero e amor sem palavras, enchem o nosso lar de alegria e leveza.

A Deus, fonte de luz e sabedoria, por sustentar os meus passos mesmo nos momentos mais silenciosos e incertos.

A todos vós, ofereço esta vitória, com o mais profundo amor e gratidão.

RESUMO

A introdução de novos materiais cerâmicos na medicina dentária revolucionou a reabilitação oral, proporcionando estética superior e maior semelhança com dentes naturais, especialmente na região anterior. Nas últimas três décadas, a preferência por restaurações livres de metal cresceu, motivada pela busca por soluções estéticas, biocompatíveis e duráveis. Dentre os materiais desenvolvidos, destacam-se os sistemas de silicato e vidro, usados em facetas e núcleos, e as cerâmicas de alta resistência, como o óxido de zircônia e a alumina, indicadas para coroas e próteses em regiões de alta carga. Apesar das vantagens, a abrasividade desses materiais contra o esmalte antagonista ainda representa um desafio clínico. Embora falhas sejam raras, a compreensão dos mecanismos de desgaste é fundamental para melhorar a durabilidade das restaurações cerâmicas. Esta revisão narrativa visa analisar qualitativamente os mecanismos de desgaste em próteses cerâmicas, focando na progressão microestrutural dos danos e suas implicações clínicas. A pesquisa bibliográfica incluiu artigos publicados entre 2005 e 2025 nas bases PubMed, Scielo, Google Scholar e Cochrane, em português, inglês e espanhol. As coroas metalocerâmicas possuem alta durabilidade, com sobrevivência superior a 90% em até 25 anos, porém apresentam limitações estéticas. Cerâmicas como feldspática, dissilicato de lítio e zircônia são alternativas que equilibram estética, resistência e biocompatibilidade. A feldspática é indicada para áreas de baixa carga devido à baixa resistência, enquanto o dissilicato oferece melhor equilíbrio entre estética e resistência. A zircônia monolítica polida (Y-TZP) destaca-se por alta resistência e baixa abrasividade ao esmalte antagonista, sendo ideal para regiões de alta carga. Estudos mostram que a zircônia polida causa menos desgaste ao esmalte do que outras cerâmicas, graças à sua microestrutura e acabamento. A escolha correta do material, associada a polimento adequado e monitorização do desgaste, é fundamental para a longevidade e função das reabilitações protéticas.

PALAVRAS-CHAVE:

Cerâmica , Desgaste Dentário, Medicina Dentária, Reabilitação Oral

ABSTRACT

The introduction of new ceramic materials in dentistry has revolutionized oral rehabilitation by providing superior aesthetics and greater similarity to natural teeth, especially in the anterior region. Over the past three decades, the preference for metal-free restorations has increased, driven by the demand for aesthetic, biocompatible, and durable solutions. Among the developed materials, silicate and glass systems stand out, used in veneers and cores, as well as high-strength ceramics like zirconia oxide and alumina, which are indicated for crowns and prostheses in high-load areas. Despite their advantages, the abrasiveness of these materials against the opposing enamel still poses a clinical challenge. Although failures are rare, understanding the wear mechanisms is essential to improve the durability of ceramic restorations. This narrative review aims to qualitatively analyze the wear mechanisms in ceramic prostheses, focusing on the microstructural progression of damage and its clinical implications. The literature search included articles published between 2005 and 2025 in PubMed, Scielo, Google Scholar, and Cochrane databases, in Portuguese, English, and Spanish. Metal-ceramic crowns have high durability, with survival rates above 90% up to 25 years, but they present aesthetic limitations. Ceramics such as feldspathic, lithium disilicate, and zirconia are alternatives that balance aesthetics, strength, and biocompatibility. Feldspathic ceramics are recommended for low-load areas due to their low strength, while lithium disilicate offers a better balance between aesthetics and strength. Polished monolithic zirconia (Y-TZP) stands out for its high strength and low abrasiveness to opposing enamel, making it ideal for high-load regions. Studies show that polished zirconia causes less enamel wear than other ceramics, thanks to its microstructure and surface finish. The correct choice of material, combined with proper polishing and wear monitoring, is fundamental for the longevity and function of prosthetic rehabilitations.

Keywords: Ceramic, Dental Tooth Wear, Dentistry and Oral Rehabilitation.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	21
2. DESENVOLVIMENTO.....	25
2.1 METODOLOGIA.....	25
2.2 DESGASTE DENTÁRIO.....	25
2.3 CERÂMICAS.....	27
2.3.1 Composição.....	27
2.3.2 Metalocerâmicas.....	30
2.3.3 Feldspáticas.....	32
2.3.4 Dissilicato de lítio.....	34
2.3.5 Zircônia.....	37
2.4 DESGASTE DENTÁRIO EM REABILITAÇÕES CERÂMICAS.....	39
2.4.1 Mecanismos de desgaste em próteses cerâmicas.....	42
2.4.2 Impacto clínico do desgaste dentário.....	46
2.4.3 Avaliação tecnológica e diagnóstico do desgaste dentário.....	49
2.5 COMPARAÇÃO DE MATERIAIS RESTAURADORES QUANTO À RESISTÊNCIA AO DESGASTE.....	51
2.6 RECOMENDAÇÕES CLÍNICAS BASEADAS EM EVIDÊNCIA E ESTRATÉGIAS PARA MINIMIZAR O DESGASTE.....	52
2.7 LACUNAS.....	54
2.8 DIREÇÕES FUTURAS DE INVESTIGAÇÃO.....	55
3. CONCLUSÃO.....	57
4. BIBLIOGRAFIA.....	59
5. ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de fases terciário da composição das cerâmicas dentárias.....	7
Figura 2- Coroa PFM: Coping metálico (A) e camada de cerâmica (B).....	10
Figura 3- Restaurações metalocerâmicas.....	11
Figura 4- Coroa total em cerâmica feldspática.....	14
Figura 5- Coroas totais em cerâmica reforçada por dissilicato de lítio —————	15
Figura 6- Facetas de dissilicato de lítio com alta translucidez—————	16
Figura 7- Reabilitações estéticas com Dissilicato de Lítio e preparos conservadores—	17
Figura 8- Reabilitações estéticas com coroas de Zircónia—————	20
Figura 9- Simulador de desgaste—————	25
Figura 10- Paciente com redução na Dimensão Vertical de oclusão—————	27
Figura 11- Exposição dentinária associada ao desgaste severo—————	28

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Descreve as bases de dados e os respectivos sites, que foram utilizados na busca textual -----4

Tabela 2- Desgaste Médio e Implicações Clínicas de Cerâmicas Dentárias ----22

LISTA DE ABREVIATURAS

µm- Micrómetro

DeCSMeSH- Descritores em Ciências da Saúde/Medical Subject Headings

DVO- Dimensão vertical de oclusão

IADR - International Association for Dental Research

MEV- Microscopia eletrónica de varrimento

mm- Milímetros

MPa- Mega Pascal

N- Newton

ORCA - European Organization for Caries Research

PFM- Porcelain-fused-to-metal

Y-TZP- Zircónia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio

1. INTRODUÇÃO

A evolução de novos materiais cerâmicos para reabilitação oral permitiu resultados estéticos superiores aos dos materiais metálicos, especialmente na região anterior, devido à sua semelhança com dentes naturais. Nas últimas três décadas, houve uma crescente adoção de restaurações sem metal, impulsionada pela demanda por soluções estéticas, biocompatíveis e duráveis. Diversos sistemas cerâmicos foram desenvolvidos, incluindo cerâmicas de silicato e vidro, utilizadas em facetas e núcleos, bem como, cerâmicas de alta resistência, como alumínio e óxido de zircônio, para coroas e próteses fixas em áreas de alta carga. Recentemente, as restaurações monolíticas de zircônia ganharam destaque, especialmente para pacientes com hábitos parafuncionais (Denry, 2013; Guess, et al., 2011).

As cerâmicas dentárias são formadas por elementos metálicos (como alumínio, cálcio, lítio, entre outros) e não metálicos (como silício e oxigênio), apresentando duas fases: cristalina e vítrea. Apresentam excelentes propriedades, incluindo estética, baixa densidade, alta dureza, inércia química, resistência ao desgaste, estabilidade de cor e baixa retenção de placa bacteriana (Della Bonna et al., 2004). No entanto, o uso de cerâmica contra cerâmica e contra dentes naturais tem sido considerado fator severo de desgaste. A cerâmica de vidro reforçada com leucita, processada em laboratório, apresentou uma taxa de desgaste do material significativamente maior do que os materiais CAD/CAM (Albashaireh, et al., 2010). Jitwirachot e colaboradores (2022) relatam que a taxa de desgaste in vitro de diferentes tipos de cerâmicas está relacionada com a flexão, resistência, tenacidade, fratura e microestrutura dos materiais. A cerâmica híbrida de vidro consiste em grãos de cristal fracamente ligados em matrizes vítreas ou poliméricas e seu desgaste ocorre principalmente por fadiga, onde a degradação da matriz expõe os cristais a microfraturas, reduzindo a resistência e aumentando o risco de fraturas superficiais. Já a taxa de desgaste de materiais à base de lítio, cerâmica de vidro, leucite e porcelanas feldspáticas aumenta inversamente à sua força de flexão (Jitwirachot et al., 2022; Cha et al., 2019).

As cerâmicas são conhecidas pela sua alta biocompatibilidade, resistência e estética semelhantes à estrutura dentária humana, porém a abrasividade desses materiais contra um antagonista do esmalte ainda é uma preocupação clínica (Zhi et al., 2016). De uma forma geral, o número dessas falhas é relativamente baixo, especialmente com os

novos sistemas cerâmicos, mas devido às suas implicações clínicas, essas falhas exigem uma melhor compreensão de suas causas (Denry, 2013).

Ensaio *in vitro* demonstram que a exposição prolongada a soluções ácidas – por exemplo, tampões citrato ou vinho branco – aumenta a rugosidade superficial, reduz a dureza e compromete a resistência flexural de várias cerâmicas, em especial das vitro-cerâmicas à base de dissilicato de lítio e das porcelanas feldspáticas (Kukiattrakoon et al., 2010; Swain, 2014) . Esta degradação química potencia fenômenos de abrasão de três corpos, elevando a taxa de perda de esmalte e de material restaurador quando a superfície alterada entra em contacto mastigatório.

O desgaste cerâmico associa-se intimamente à fadiga por deslizamento repetido. Contactos cíclicos geram zonas de acumulação de danos, onde micro defeitos atuam como iniciadores de fissuras; a propagação subcrítica é facilitada pela presença de água na interface (Ramos et al., 2023) . Materiais com maior tenacidade à fratura, como a zircónia policristalina estabilizada com ítrio, limitam a extensão dessas fissuras e, por conseguinte, exibem menores taxas de desgaste e menor perda volumétrica do antagonista (Wendler et al., 2020; Zhang et al., 2019) . Pelo contrário, cerâmicas de matriz vítrea revelam extensas áreas de dano subsuperficial e delaminação progressiva.

A heterogeneidade dos protocolos laboratoriais – carga aplicada entre 0.4 N e 200 N, amplitude de deslizamento de 0.5 mm a 1 mm, número de ciclos variável – dificulta a extrapolação directa para o meio clínico. A literatura recomenda a utilização de antagonistas padrão em esteatite ou esferas de zircónia, bem como a combinação de testes de dois e três corpos para reflectir condições fisiológicas e parafuncionais (Maier et al., 2022). Utilizando digitalização intra-oral e sobreposição de modelos 3D, Schlenz et al. (2022) acompanharam adultos jovens (18-25 anos) durante 12 meses e registaram uma perda média nas cúspides entre 31 e 43 µm, valor que se mantém próximo dos 38 µm/ano tradicionais, validando e corroborando com resultados semelhantes foram obtidos no ensaio clínico randomizado de Esquivel-Upshaw et al. (2013), no qual o desgaste vertical máximo do esmalte de molares antagonistas aferido após um ano rondou os 48 µm, igualmente medido por varrimento digital de alta precisão. Estas observações contemporâneas reforçam, portanto, que um limiar de aproximadamente 40 µm/ano permanece clinicamente pertinente para modelar e prever o desgaste fisiológico do esmalte contra materiais restauradores. Desta forma, ao escolher materiais

restauradores, é importante levar em consideração o desgaste do esmalte causado pelas restaurações (Shah et al., 2024).

A evidência disponível sublinha a relevância do acabamento superficial. Estudos de dois corpos revelam que polimento sequencial da zircônia até uma rugosidade $Ra \leq 0.2 \mu m$ reduz o desgaste do esmalte a níveis comparáveis aos observados com ligas metálicas nobres (Kontos et al., 2013; Sripetchdanond & Leevailoj, 2014). A vitrificação, embora aumente o brilho inicial, apresenta durabilidade limitada quando ajustes oclusais expõem cristais angulares mais abrasivos. Para vitro-cerâmicas, protocolos de polimento que removem a fase vítrea superficial e selam porosidade demonstram reduzir a profundidade de cratera no antagonista em até 45 % (Wendler et al., 2020) .

Sendo assim o conhecimento sobre a forma como o dano por desgaste progride em nível microestrutural é fundamental para a otimização dos materiais dentários em aplicações protéticas (Borrero-Lopez et al., 2019).

Desta forma, o presente estudo propõe-se a realizar uma revisão narrativa sobre os mecanismos de desgaste em próteses cerâmicas, analisando a progressão da perda de material para os vários tipos de cerâmica e suas implicações na durabilidade e funcionalidade clínica das restaurações.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 METODOLOGIA

A presente revisão narrativa tem como objetivo avaliar os mecanismos de desgaste em próteses cerâmicas. Através de um estudo qualitativo descritivo, buscou-se analisar a progressão das falhas a nível microestrutural e entender como isso afeta a durabilidade e a funcionalidade clínica das restaurações. Assim, o trabalho visa contribuir para o conhecimento sobre a performance das próteses cerâmicas e as suas implicações na prática clínica.

Para desenvolver esta revisão, foi realizada uma busca de artigos utilizando as bases de dados descritas na Tabela 1 (PubMed, Scielo, Google Scholar e Cochrane). Serão examinados artigos em português, inglês e espanhol, abrangendo o período de 2005 a 2025.

Tabela 1. Bases de dados e os respectivos sites utilizados na pesquisa bibliográfica.

Base de dados	Sites
PubMed	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/
Scielo	https://www.scielo.br/
Google Scholar	https://scholar.google.com/
Cochrane	https://www.cochranelibrary.com/

As palavras-chave foram pesquisadas no DeCSMeSH (Descritores em Ciências da Saúde/Medical Subject Headings), sendo assim selecionadas as seguintes: Cerâmica (Ceramic), Desgaste Dentário (Tooth Wear), Medicina Dentária (Dentistry) e Reabilitação Oral (Oral Rehabilitation).

2.2 DESGASTE DENTÁRIO

Na medicina dentária, o termo "desgaste" é utilizado para descrever a perda de tecido dentário, podendo ser classificado em: atrição, caracterizado pela perda em áreas de contato; abrasão, relacionada ao desgaste em regiões sem contato direto; erosão, atribuída à ação de agentes químicos; e abfração, decorrente de tensões cervicais repetidas que levam à fadiga do esmalte e da dentina (Branco et al., 2020). No entanto, o termo, abfração, segundo o *Consensus Report* da ORCA e do *Cariology Research Group* da IADR, é considerado especulativa, sendo o uso do termo desencorajado e excluído da terminologia padronizada, já que as evidências científicas disponíveis são insuficientes para reconhecê-la como um processo distinto de outras formas de desgaste dentário (Schlueter et al., 2020). O desgaste é um tipo de dano caracterizado por alterações na morfologia da superfície e pela perda de volume ao longo do tempo, resultante da ação de diferentes mecanismos e para compreender esses mecanismos, é fundamental considerar a complexidade do meio oral. Não apenas os movimentos mastigatórios influenciam diretamente as superfícies dos materiais restauradores, mas também fatores como a dieta, as variações de temperatura e pH, a frequência e intensidade da mastigação, além das características do dente antagonista podem modelar este processo (Ramos et al., 2023).

Na paleodontologia, o desgaste dentário é uma importante fonte de informação sobre dieta e evolução, sendo influenciado por partículas abrasivas nos alimentos. Padrões de microdesgaste do esmalte fóssil permitem inferir hábitos alimentares, e estudos evolutivos têm auxiliado na formulação de modelos que explicam a transição do desgaste leve ao severo, considerando as propriedades dos materiais e as condições de mastigação (Barrero-Lopez et al., 2019). Algum grau de desgaste dentário fisiológico é esperado ao longo da vida, sendo a taxa de progressão variável entre os indivíduos, sendo importante destacar que o desgaste é considerado patológico quando excede os limites fisiológicos esperados para a idade do paciente e passa a comprometer a função ou a percepção de bem-estar do indivíduo (Ramos et al., 2023).

O desgaste oclusal afeta tanto dentes naturais quanto materiais restauradores, como cerâmicas, ocorrendo de forma fisiológica ou patológica (Barrero-Lopez et al., 2019). A análise do desgaste entre superfícies de esmalte humano é essencial para estabelecer valores de referência e verificar se materiais cerâmicos promovem desgastes clinicamente relevantes, como apontado por Mundhe et al. (2015) e Sripetchdanond et al. (2014). Materiais cerâmicos podem desgastar a dentição oposta sendo também suscetíveis à propagação de fissuras (Barrero-Lopez et al., 2019).

Embora o desgaste de superfícies de esmalte humano oponentes de restaurações em cerâmica seja referência para avaliar a abrasividade de materiais cerâmicos, a literatura apresenta escassez de estudos clínicos sobre o tema, predominando evidências laboratoriais, possivelmente devido às complexidades metodológicas *in vivo* e à influência de múltiplas variáveis (Da Silva et al, 2018). Sendo assim, compreender os mecanismos de desgaste de superfícies dentárias naturais e artificiais é fundamental para desenvolver estratégias que minimizem a perda estrutural, aumentem a longevidade das restaurações e preservem a estética e função, especialmente devido ao aumento da esperança de vida e à necessidade de manter a dentição por mais tempo (Branco, 2020).

2.3 CERÂMICAS

2.3.1 Composição

O termo “cerâmica” tem origem na palavra grega *keramos*, que significa argila. Registos arqueológicos datados de aproximadamente 13 mil anos revelam os primeiros vestígios de produção cerâmica nas escavações do Vale do Nilo, no Egito e já no século X, os chineses dominavam a técnica cerâmica, produzindo peças com estrutura resistente e coloração extremamente branca. Essa técnica só chegou à Europa no século XVII, onde passou a ser conhecida como “louça de mesa”. Desde então, os europeus empenharam-se intensamente para desvendar e reproduzir a composição da porcelana chinesa. No entanto, foi apenas em 1717 que o segredo foi revelado: os chineses utilizavam três componentes principais — caulim (uma argila típica da China), sílica (quartzo) e feldspato (composto de silicatos de alumínio, potássio e sódio). Com esse conhecimento, em 1720 os europeus conseguiram produzir uma porcelana fina e translúcida, semelhante à chinesa, utilizando feldspato e óxido de cálcio como fundente e submetendo a mistura a altas temperaturas de queima (Gomes, 2008).

As cerâmicas dentárias são materiais inorgânicos compostos, na sua maioria, por oxigénio (O) combinado com um ou mais elementos metálicos ou semi metálicos (Figura1). Entre os principais constituintes encontram-se: alumínio (Al), boro (B), cálcio (Ca), cério (Ce), lítio (Li), magnésio (Mg), fósforo (P), potássio (K), silício (Si), sódio (Na), titânio (Ti) e zircónio (Zr) (Raposo et al., 2014). Essas cerâmicas apresentam uma fase cristalina, responsável pelas suas características mecânicas e

óticas, e uma fase vítrea, formada por uma rede de óxido de silício, que influencia a viscosidade e a expansão térmica da porcelana (Craig., 2012).

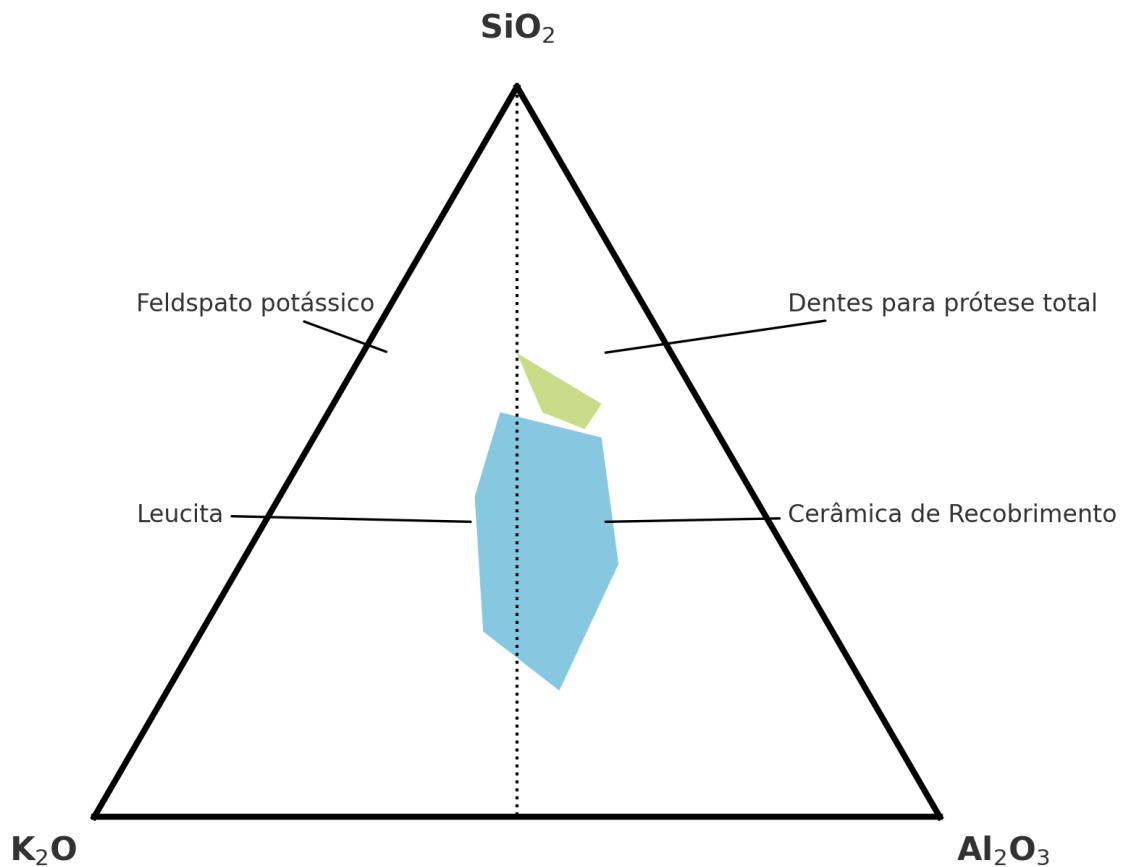


Figura 1 -Diagrama de fases terciário da composição das cerâmicas dentárias. (Adaptado de Raposo et al., 2014)

A fase vítrea é formada por cadeias de tetraedros de $(\text{SiO}_4)^{4-}$, nas quais os cátions de silício (Si^{4+}) ocupam o centro dos tetraedros e os aniões de oxigênio (O^-) estão dispostos nos vértices, originando uma estrutura com ligações covalentes e iônicas. Essa rede tridimensional Si/O é a principal responsável por propriedades como a viscosidade e o coeficiente de expansão térmica do material. Além disso, a matriz vítrea desempenha papel fundamental nas propriedades óticas das cerâmicas,

especialmente na translucidez, que contribui para a estética das restaurações. A incorporação de óxidos metálicos em pequenas concentrações reforça essa fase vítrea e interfere diretamente na tonalidade final do material. Por outro lado, a fase cristalina está associada às propriedades mecânicas das cerâmicas, como a resistência à fratura e o isolamento térmico. A quantidade e a natureza dos cristais presentes também influenciam aspectos óticos, completando a interação funcional entre as duas fases que compõem essas cerâmicas avançadas (Raposo et al., 2014).

As cerâmicas dentárias constituem materiais amplamente utilizados na reabilitação oral, destacando-se por apresentarem propriedades mecânicas e resistência ao desgaste bem estabelecidas (Ramos et al., 2023). As mesmas são materiais biocompatíveis, quimicamente estáveis e seguros para uso intraoral. Apesar de apresentarem fragilidade, essa limitação pode ser superada por meio do reforço com partículas, estruturas metálicas ou pelo uso de cerâmicas policristalinas (Warreth e Elkareimi, 2020). Devido à sua capacidade de reproduzir com fidelidade a aparência dos dentes naturais, esses materiais são amplamente indicados em situações que exigem alto grau de estética. As cerâmicas aplicadas em restaurações dentárias caracterizam-se por um elevado teor de feldspato, seguido pela presença de quartzo, o que proporciona excelente desempenho estético, atribuído às suas propriedades óticas distintas (Raposo et al., 2014). As destacadas propriedades de biocompatibilidade, estabilidade térmica, inércia química, baixa condutividade térmica e elevada resistência à abrasão justificam a ampla aceitação das cerâmicas pelos profissionais e pacientes em procedimentos de reabilitação protética (Guarnieri et al., 2021). No entanto, os materiais cerâmicos tendem a provocar um desgaste mais acentuado nos dentes naturais antagonistas em comparação com outros tipos de materiais restauradores (Branco., 2020). Restaurações protéticas cerâmicas podem influenciar no desgaste do dente antagonista, o que, quando excessivo, pode comprometer sua integridade, causar hipersensibilidade e reduzir a dimensão vertical de oclusão, sendo assim, a escolha do material restaurador deve considerar as suas propriedades mecânicas, visando preservar a função oclusal, o equilíbrio articular e garantir longevidade clínica (Mohammadibassir et al., 2019).

2.3.2 Metalocerâmicas

A coroa metalocerâmica, convencionalmente conhecida como porcelain-fused-to-metal (PFM), doravante referida como PFM, foi introduzida na década de 60, representando um marco na evolução da reabilitação protética fixa, ao aliar (Figura 2) a resistência de uma estrutura metálica à estética proporcionada pela camada superficial de porcelana feldspática (Gonzalez-Bonilla et al., 2024). Apesar da sua ampla utilização, estudos apontam taxas cumulativas de falha em próteses parciais fixas PFM de aproximadamente 4% após cinco anos, 12% após dez anos e chegando a 32% após quinze anos de uso (Warreth&Elkareimi, 2020), no entanto, a combinação entre a estrutura metálica e a cerâmica feldspática possibilitou superar a fragilidade das cerâmicas dentárias iniciais, alcançando resistências à flexão superiores a 800 MPa e essa robustez mecânica fez das restaurações PFM o *gold standard* por décadas, tanto para coroas unitárias como para próteses fixas parciais (Pereira et al., 2023).



Figura 2- Estrutura Metálica para aplicação de prótese em cerâmica (A)
camada de cerâmica (B)

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Fábio Ferreira Ideriha, 2016.

As ligas metálicas empregadas em restaurações metalocerâmicas (Figura 3) devem atender a critérios específicos para assegurar a compatibilidade com a cerâmica. Entre esses requisitos destacam-se: ponto de fusão superior à temperatura de sinterização da porcelana, coeficiente de expansão térmica ligeiramente maior que o da cerâmica o que promove compressão residual e previne a formação de fissuras, além da capacidade de estabelecer uma união eficiente com a porcelana por meio de

mecanismos químicos, mecânicos e de tensão térmica diferencial. Para além disso, essas ligas devem apresentar rigidez e resistência mecânica suficientes para suportar as forças mastigatórias, podendo ser confeccionadas em espessuras reduzidas, o que favorece a aplicação estética da cerâmica sem comprometer a estabilidade dimensional durante o processamento e o uso clínico (Warreth & Elkareimi, 2020).



Figura 3- Restaurações metalocerâmicas

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Fábio Ferreira Ideriha, 2016.

O bom desempenho clínico das coroas PFM é atribuído à interação química e mecânica eficaz entre a liga metálica, geralmente composta por níquel-cromo, cobalto-cromo ou ligas nobres, e a cerâmica de cobertura. Essa adesão é favorecida pela formação controlada de óxidos na superfície metálica durante os ciclos de sinterização, resultando em uma interface estável, que contribui para a resistência térmica e atua como barreira à propagação de fissuras. Tal característica estrutural está correlacionada com as elevadas taxas de sucesso clínico reportadas na literatura, com revisões sistemáticas indicando índices de sobrevivência entre 94% e 96% após 10 anos em coroas unitárias (Pjetursson et al., 2007). Além disso, estudos longitudinais com seguimento de até 25 anos demonstram taxas de sobrevivência superiores a 90%, mesmo sob condições de altas cargas mastigatórias, o que evidencia a confiabilidade e durabilidade do sistema PFM (Walton, 2013).

De acordo com Esquivel-Upshaw et al. (2013), as restaurações metalocerâmicas continuam a ser uma alternativa viável, especialmente em casos de reabilitações posteriores extensas ou em pacientes com bruxismo, devido à sua elevada tenacidade e à capacidade de suportar espessuras reduzidas do revestimento cerâmico. No entanto, embora apresentem vantagens mecânicas, esses sistemas PFM tendem a causar maior desgaste do esmalte dentário antagonista em comparação ao esmalte natural, ou seja, materiais cerâmicos metálicos demonstram maior potencial abrasivo sobre o esmalte do que a própria estrutura dental. Ainda assim, é importante destacar que a maioria dos estudos apresenta limitações metodológicas relevantes, como o tamanho reduzido das amostras e a heterogeneidade dos protocolos experimentais, portanto, há uma necessidade premente de ensaios clínicos randomizados, bem delineados e conduzidos em populações homogêneas, para confirmar e validar esses resultados (Mao et al., 2024).

2.3.3 Feldspáticas

A cerâmica feldspática é classificada como um material vítreo, composto majoritariamente por feldspato de potássio ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), obtido a partir da combinação de argila e quartzo. A sua estrutura é constituída por uma fase vítrea amorfa formada por dióxido de silício, óxido de alumínio, óxidos alcalinos (sódio e potássio) e pequenas quantidades de quartzo cristalino (SiO_2) (Anusavice, Shen & Rawls, 2013). Conhecidas como porcelanas feldspáticas, essas cerâmicas têm como principais constituintes sílica e alumina derivadas do feldspato (Warreth & Elkareimi, 2020).

Entre as suas propriedades destacam-se a elevada translucidez, o coeficiente de expansão térmica compatível com o dos tecidos dentários, boa resistência à compressão e à degradação química provocada por fluidos orais. No entanto, apesar de sua alta dureza superficial, a porcelana feldspática apresenta baixa resistência à tração e à flexão, com valores que variam entre 70 e 90 MPa, sendo considerada um material frágil, com capacidade limitada de dissipação de tensões internas — característica que a torna suscetível à fratura (Raposo et al., 2014; Warreth & Elkareimi, 2020).

Introduzidas na década de 1980, essas cerâmicas passaram a ser utilizadas em restaurações indiretas como coroas, inlays, onlays e facetas, com coloração ajustada por

meio de pigmentação superficial. Contudo, essa técnica apresenta baixa estabilidade química, sendo vulnerável à remoção durante procedimentos clínicos, o que compromete a estética ao longo do tempo. Além disso, as elevadas taxas de fratura em coroas posteriores foram atribuídas à propagação de microfissuras, especialmente em regiões de alta carga oclusal (Garcia et al., 2011).

As cerâmicas feldspáticas (Figura 4) foram as primeiras a serem desenvolvidas para aplicações em processos de alta fusão, sendo inicialmente utilizadas em associação com lâminas de platina na confecção de coroas metalocerâmicas. Posteriormente, devido ao seu excelente desempenho estético, passaram a ser empregadas em coroas totalmente cerâmicas. No entanto, sua limitada resistência mecânica restringiu sua indicação clínica a coroas unitárias em dentes anteriores, particularmente em áreas de baixo stress funcional (Amoroso et al., 2012).



Figura 4- Coroa total em cerâmica feldspática (Adaptado de Raposo et al., 2014).

As suas principais indicações clínicas incluem a confecção de coroas envolvendo múltiplas camadas (dentina, dentina gengival, esmalte intermediário e esmalte incisal), além de restaurações metalocerâmicas e cerâmicas totais com baixo teor de leucite, como coroas, inlays, onlays e facetas laminadas (Gomes et al., 2008; Garcia et al., 2011).

2.3.4 Dissilicato de lítio

A cerâmica vítrea à base de dissilicato de lítio (Figura 5) apresenta uma combinação equilibrada entre resistência mecânica satisfatória e propriedades óticas superiores às das porcelanas dentárias tradicionais. Embora a zircônia continue a apresentar maiores valores de resistência estrutural, o dissilicato de lítio sobressai pela sua elevada translucidez, característica fundamental para aplicações em regiões com elevada demanda estética. A ampla gama de tonalidades disponíveis, aliada a diferentes níveis de translucidez, possibilita a confecção de restaurações monolíticas, que podem ser posteriormente individualizadas por meio de técnicas de coloração superficial (Guess et al., 2010; Schultheis et al., 2013).



Figura 5- Coroas totais em cerâmica reforçada por dissilicato de lítio.

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Fábio Ferreira Ideriha, 2016.

Graças à combinação de propriedades mecânicas e óticas favoráveis, o dissilicato de lítio consolidou-se como material de eleição para a confecção de coroas cerâmicas monolíticas com alta exigência estética (Pieger, Salman, & Bidra, 2014). No entanto, a literatura clínica evidencia que a longevidade dessas restaurações está diretamente relacionada à adoção de protocolos adesivos rigorosos, especialmente em preparos dentários conservadores com redução de estrutura entre 1,0 mm e 1,5 mm, ou entre 1,5 mm e 2,0 mm (Cortellini & Canale, 2012; Gehrt et al., 2013; Reich & Schierz,

2013).

Estudos in vitro realizados por Harada et al. (2016) compararam a transmitância total de luz (Tt%) de diferentes zircônias de alta translucidez com a do dissilicato de lítio (IPS e.max CAD LT). Os resultados demonstraram que, na espessura de 0,5 mm, o dissilicato de lítio apresentou uma Tt% média de $40,32 \pm 0,25$, estatisticamente superior à de todas as zircônias avaliadas. Mesmo em espessura de 1,0 mm, o material manteve um desempenho ótico significativamente superior. Essa superioridade translúcida (Figura 6) foi corroborada por uma meta-análise recente conduzida por Yousry et al. (2024), que reuniu 53 estudos e confirmou os resultados independentemente da geração de zircônia analisada.



Figura 6- Facetas de dissilicato de lítio com alta translucidez

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Fábio Ferreira Ideriha, 2016.

Em termos de desempenho mecânico, Sorrentino et al. (2018) demonstraram que coroas monolíticas de dissilicato de lítio com espessura de 1,0 mm são capazes de suportar cargas de fratura semelhantes às de restaurações mais espessas, enquanto restaurações com apenas 0,5 mm de espessura apresentaram falhas irreparáveis. Evidências clínicas sustentam esses achados: Reich e Schierz (2013) relataram uma taxa de sobrevivência de 96,3% após quatro anos em coroas posteriores confeccionadas

chairside com dissilicato de lítio, enquanto Rauch et al. (2018) reportaram taxa de sobrevivência de 92,5% após dez anos.

A longevidade clínica das restaurações depende, contudo, da aplicação de protocolos adesivos adequados. Cortellini e Canale (2012) propuseram o condicionamento da superfície interna com ácido fluorídrico a 5% por 20 segundos, seguido da aplicação de silano, especialmente eficaz em preparos com terminação tipo *feather-edge*. Resultados recentes de Porto et al. (2024) confirmam que esse protocolo promove simultaneamente aumento da rugosidade superficial, aumento da energia livre de superfície e maior resistência de união ao cisalhamento.

Do ponto de vista clínico, a escolha entre dissilicato de lítio e zircônia de alta translucidez deve ser guiada por uma avaliação criteriosa de múltiplos fatores. Quanto à espessura residual, o dissilicato de lítio exige um mínimo de 1,0 mm (idealmente $\geq 1,5$ mm) para garantir desempenho mecânico adequado. Em contrapartida, zircônias estabilizadas com 4 a 5 mol% de óxido de ítrio (Y_2O_3) demonstram resistência satisfatória mesmo em espessuras de 1,0 mm, possibilitando o uso de técnicas de cimentação convencional. Em relação às demandas estéticas, o dissilicato de lítio continua a ser a escolha preferencial em casos com substratos de coloração favorável, dada sua capacidade superior de mimetizar as propriedades ópticas dos tecidos dentários naturais. Entretanto, em situações clínicas que requerem mascaramento de substratos escurecidos, a zircônia, devido à sua opacidade seletiva, mostra-se mais indicada. No que diz respeito à resistência funcional, especialmente em regiões posteriores sujeitas a elevadas cargas mastigatórias, a zircônia oferece desempenho mecânico superior. Ainda assim, estudos de fadiga demonstram que coroas monolíticas de dissilicato de lítio podem atingir níveis comparáveis de confiabilidade, desde que sejam respeitadas as espessuras mínimas recomendadas (Guess et al., 2010; Schultheis et al., 2013).

Em síntese, o dissilicato de lítio permanece como material de primeira escolha para reabilitações com exigência estética elevada (Figura 7), desde que se adotem preparos conservadores compatíveis com seus limites mecânicos e protocolos adesivos validados. Por sua vez, a zircônia de alta translucidez representa uma alternativa viável quando se procura a preservação de estrutura dentária ou se anteveem condições oclusais desfavoráveis. A decisão clínica deve, portanto, equilibrar estética, espessura residual disponível e longevidade funcional da restauração.



Figura 7- Reabilitações estéticas com Dissilicato de Lítio e preparos conservadores.

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Fábio Ferreira Ideriha, 2016.

2.3.5 Zircônia

A introdução da zircônia na medicina dentária, deu-se na década de 1990 e representou um avanço significativo devido à sua notável resistência à fratura e elevada biocompatibilidade. Inicialmente empregada como infraestrutura para cerâmicas estratificadas, destacou-se especialmente em áreas posteriores da cavidade oral, onde a demanda por resistência às cargas mastigatórias é maior. Com o tempo, porém, foram observados casos de lascamento da cerâmica de cobertura, atribuídos a fatores como incompatibilidade no coeficiente de expansão térmica entre os materiais, geometrias estruturais inadequadas, processos de arrefecimento acelerado e à menor robustez da porcelana em relação ao substrato de zircônia (Aljomard, Altunok & Kara, 2021).

Nas últimas décadas, a constante evolução dos materiais cerâmicos levou à consolidação do dióxido de zircônio (ZrO_2) como uma alternativa de destaque nas reabilitações protéticas. Essa mudança progressiva em relação às coroas metalocerâmicas tradicionais decorre da combinação entre resistência mecânica superior, excelente compatibilidade biológica e um potencial estético cada vez mais satisfatório (Rinke & Fischer, 2013).

A zircônia apresenta três polimorfos cristalinos: monoclinico, tetragonal e

cúbico, cuja estabilidade é dependente da temperatura. A forma tetragonal, mantida à temperatura ambiente pela adição de óxido de ítrio (Y_2O_3), origina o material conhecido como zircônia tetragonal policristalina estabilizada por ítrio (Y-TZP). Durante a transformação da fase tetragonal para a monoclinica, ocorre um aumento volumétrico de aproximadamente 3% a 5%, gerando tensões compressivas residuais que impedem a propagação de fissuras, conferindo ao material uma tenacidade à fratura na faixa de 9 a 10 MPa·m^{1/2} (Zhang, 2014).

Em condições in vitro, a resistência à flexão da zircônia varia entre 900 MPa e 1200 MPa, valores substancialmente superiores aos das demais cerâmicas dentárias (Nakamura et al., 2015). Embora a sua microestrutura densamente policristalina comprometa parcialmente a translucidez, os avanços recentes nas formulações 4Y-PSZ e 5Y-PSZ (zircônias parcialmente estabilizadas com 4%–5% de Y_2O_3) possibilitaram maior passagem de luz sem comprometer de forma significativa o desempenho mecânico (Cardoso et al., 2020; Yousry et al., 2024).

A fabricação contemporânea de estruturas em zircônia é viabilizada por sistemas de desenho e manufatura assistidos por computador (CAD/CAM), permitindo duas abordagens principais: fresagem em estado “mole”, a partir de blocos pré-sinterizados seguida de sinterização, ou fresagem em estado “duro”, utilizando blocos totalmente sinterizados. O protocolo de sinterização — que inclui temperatura, tempo de exposição e taxa de aquecimento — afeta diretamente a densidade, translucidez e resistência final do material (Alao et al., 2017).

Após a fresagem, a superfície da zircônia pode ser submetida a diferentes acabamentos, como acetinagem, polimento sequencial ou aplicação de glaze. Essas intervenções influenciam a rugosidade superficial e, por conseguinte, o grau de desgaste do esmalte dentário antagonista. Evidências clínicas indicam que coroas de zircônia polida promovem menor abrasividade sobre dentes oponentes quando comparadas às apenas glazeadas (Alfonard et al., 2022; Esquivel-Upshaw et al., 2018). A seleção do tipo de acabamento, portanto, assume importância clínica significativa, tanto para a longevidade da restauração quanto para a preservação dos dentes adjacentes.

Coroas monolíticas de zircônia são especialmente indicadas em casos com elevada demanda oclusal, como em pacientes com bruxismo, espaços restauradores

limitados ou histórico prévio de fratura de cerâmicas estratificadas. Nessas situações, o material permite preparos menos invasivos e reduz a incidência de lascamentos (Zhang et al., 2013). No entanto, para regiões estéticas anteriores, a zircônia (Figura 8) ainda pode apresentar limitações em termos de translucidez e mimetização ótica quando comparada às cerâmicas estratificadas à base de feldspato.

O desempenho notável da zircônia é resultado da interação sinérgica entre sua microestrutura, processo de fabricação e tratamento de superfície. A compreensão desses fatores é fundamental para a seleção adequada do material, a definição do protocolo laboratorial e a condução da estratégia clínica, assegurando restaurações duráveis, biocompatíveis e compatíveis com as exigências estéticas contemporâneas.



Figura 8- Reabilitações estéticas com coroas de Zircônia.

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Alessandro de Paula Gomes, 2025.

2.4 DESGASTE DENTÁRIO EM REABILITAÇÕES CERÂMICAS

O desgaste do esmalte dos dentes antagonistas pode ser definido como a perda progressiva e irreversível de estrutura dentária, resultante do contato funcional repetido

entre dentes opostos ou entre dentes naturais e superfícies de materiais restauradores. Esse processo é de natureza multifatorial, envolvendo uma complexa interação entre fatores biomecânicos, funcionais e comportamentais. Entre os principais elementos que contribuem para esse desgaste, destacam-se a oclusão do paciente, a intensidade e frequência da atividade muscular mastigatória, as condições das articulações temporomandibulares, hábitos alimentares específicos, comportamentos parafuncionais, além da natureza físico-química e topográfica do material restaurador empregado na reabilitação protética (Shah et al., 2024).

Nesse contexto, torna-se essencial que os materiais protéticos utilizados em medicina dentária apresentem propriedades físico-mecânicas adequadas que permitam não apenas restaurar a função e a estética, mas também garantir durabilidade clínica em um ambiente oral hostil e dinâmico. Esses materiais devem ser capazes de suportar tensões oclusais funcionais, resistir à fadiga mecânica induzida por cargas mastigatórias cíclicas e, ao mesmo tempo, minimizar o desgaste das estruturas dentárias antagonistas. Além da resistência e estabilidade, os aspectos estéticos também desempenham um papel central na escolha do material restaurador. A crescente exigência dos pacientes por soluções estéticas com aparência natural impulsionou o desenvolvimento de cerâmicas dentárias avançadas, que oferecem cor, translucidez e textura similares às dos dentes naturais. As cerâmicas dentárias, reconhecidas pela sua excelente estética e elevada biocompatibilidade, tornaram-se amplamente utilizadas em reabilitações protéticas. Contudo, apesar dessas vantagens, apresentam limitações importantes, como a maior suscetibilidade à fratura em comparação a outros materiais e o potencial de causar desgaste significativo nos dentes naturais com os quais entram em contato (Amer et al., 2014).

Dentre as cerâmicas mais empregadas atualmente, destacam-se o dissilicato de lítio e a zircônia policristalina estabilizada por ítria (Y-TZP), ambas amplamente indicadas em reabilitações estéticas e funcionais. Cada uma dessas cerâmicas possui comportamento tribológico distinto, especialmente no que se refere ao impacto sobre os dentes antagonistas. Estudos laboratoriais e clínicos têm demonstrado que, embora essas cerâmicas apresentem alta resistência mecânica e excelentes propriedades óticas, podem causar desgaste acentuado do esmalte natural, especialmente quando suas superfícies são deixadas rugosas, mal polidas ou não recebem acabamento adequado após ajustes clínicos (Heintze et al., 2008; Coldea et al., 2013). A durabilidade das reabilitações

cerâmicas, bem como sua funcionalidade a longo prazo, está diretamente relacionada ao conhecimento detalhado dos mecanismos de desgaste envolvidos na interação entre os materiais restauradores e os tecidos dentários. Nas últimas décadas, a evolução das composições cerâmicas, que passou das tradicionais porcelanas feldspáticas para as modernas zircônias policristalinas, modificou substancialmente a interface de contato material–antagonista, influenciando os padrões de perda de superfície, como na Tabela 2, observados em ensaios clínicos e laboratoriais (Ghaffari et al., 2022).

Tabela 2- Desgaste Médio E Implicações Clínicas De Cerâmicas Dentárias

Tipo de Cerâmica	Taxa Média de Desgaste (in vivo)	Implicação Clínica Dominante
Feldspática vitrificada	35–45 µm/ano	Perda acelerada de esmalte antagonista
Dissilicato de lítio	18–25 µm/ano	Equilíbrio entre estética e resistência
Zircônia Y-TZP polida	10–15 µm/ano	Desgaste semelhante ao contato esmalte-esmalte
Zircônia 5Y-TZP translúcida	12–20 µm/ano	Estética superior; ligeiro aumento de desgaste
Híbridos cerâmico-poliméricos	22–30 µm/ano	Abrasividade reduzida; maior desgaste do próprio material

Fontes: Adaptado de Ghaffari et al., 2022; Patil et al., 2020; Ramos et al., 2023

O desgaste dentário pode ocorrer por dois mecanismos principais: abrasão de dois corpos, caracterizada pelo contato direto entre a cúspide dentária e a superfície restauradora; e abrasão de três corpos, na qual partículas intermediárias, como restos alimentares ou fragmentos do próprio material restaurador, atuam como abrasivos entre as superfícies em atrito. Ensaios in vitro têm demonstrado que a rugosidade superficial da cerâmica, exerce influência predominante sobre o grau de desgaste do dente antagonista, superando, inclusive, a dureza intrínseca do material restaurador como fator isolado (Mitov et al., 2012). Superfícies cerâmicas com rugosidade superficial inferiores

a 0,2 μm são consideradas ideais para reduzir tanto a adesão bacteriana quanto o desgaste de dentes opostos; entretanto, esse nível de acabamento muitas vezes é comprometido após intervenções clínicas como ajustes oclusais com brocas ou escovagem prolongada, que tendem a aumentar significativamente a rugosidade superficial (Kou et al., 2006; Heintze, 2006).

Dessa forma, torna-se evidente que a compreensão profunda dos mecanismos de desgaste entre cerâmicas dentárias e tecidos dentários antagonistas é fundamental para a seleção criteriosa dos materiais restauradores e para a adoção de protocolos clínicos eficazes. Essa compreensão permite não apenas prolongar a longevidade das reabilitações protéticas, mas também preservar a integridade dos dentes naturais, promovendo tratamentos mais conservadores, funcionais e estéticos a longo prazo.

2.4.1 Mecanismos de desgaste em próteses cerâmicas

A abrasão mecânica resulta do contato direto entre superfícies em movimento, sendo modulada pela dureza relativa dos materiais, pela rugosidade após o acabamento e pela carga oclusal aplicada (Sripetchdanond & Leevailoj, 2014). Sob esforços mastigatórios cíclicos, ocorrem tensões repetitivas que induzem a propagação subcrítica de fissuras, fenômeno característico da fadiga tribológica, observado especialmente em vitrocerâmicas à base de dissilicato de lítio (Patil et al., 2020).

Além disso, variações no pH salivar promovem a corrosão-abrasão química, favorecendo a dissolução seletiva da fase vítrea em cerâmicas silicatadas e, conseqüentemente, aumentando a perda de material por abrasão (Ramos et al., 2023).

A rugosidade inicial e o tipo de polimento exercem um papel fundamental no desempenho tribológico: superfícies com rugosidade inferior a 0,10 μm apresentam menor coeficiente de fricção; a zircônia polida mantém a topografia próxima à do esmalte, enquanto o glaze tende a se desgastar rapidamente, expondo grãos com maior potencial abrasivo (Zhang et al., 2019).

O crescimento no uso de materiais cerâmicos em reabilitações protéticas fixas deve-se às suas boas propriedades mecânicas, estéticas e durabilidade. No entanto, a longevidade clínica dessas reabilitações depende também da interação biomecânica e

tribológica entre o material restaurador e o esmalte do dente antagonista. Estudos recentes destacam que superfícies de zircônia monolítica bem polidas causam menos desgaste no esmalte oposto em comparação à zircônia vitrificada e às cerâmicas feldspáticas (Alfonard et al., 2022; Ghaffari et al., 2022). A baixa abrasividade observada na zircônia monolítica está fortemente associada às suas propriedades microestruturais, especialmente ao pequeno tamanho dos grãos e à ausência de fase vítrea exposta, o que resulta em uma superfície mais lisa e menos agressiva ao esmalte após o polimento (Alfonard et al., 2022; Stawarczyk et al., 2013).

O estudo conduzido por Esquivel-Upshaw et al. (2018) demonstrou que a zircônia monolítica polida não promove desgaste acelerado do esmalte dentário antagonista, sendo que os níveis de desgaste observados para a zircônia monolítica foram comparáveis aos da metalocerâmica, sem diferenças estatisticamente significativas entre o desgaste do esmalte oposto e o desgaste observado em dentes controle em ambas as condições, o que possui relevância clínica, pois indica que a zircônia monolítica polida se apresenta como uma alternativa restauradora promissora, aliando elevada resistência mecânica a propriedades estéticas satisfatórias. Embora diversos estudos indiquem que coroas monolíticas de zircônia tendem a provocar menos desgaste ao dente antagonista em comparação com outros materiais restauradores, o acabamento superficial da restauração, seja glazeado ou polido, exerce um papel determinante nesse processo, sendo que, em uma avaliação clínica, verificou-se que após seis meses a zircônia causou menor desgaste ao esmalte natural antagonista (51,9 μm) em comparação com a metalocerâmica (64,4 μm), porém após doze meses observou-se um aumento no desgaste associado à zircônia (70,3 μm), superando o desgaste provocado pela metalocerâmica (63,0 μm) (Díaz & Vanina, 2025). Além disso, estudos clínicos *in vivo* indicam que porcelanas feldspáticas de baixa fusão, caracterizadas por uma microestrutura composta por partículas menores, tendem a ser menos abrasivas ao esmalte antagonista do que os feldspatos convencionais. Essa diferença pode ser atribuída à menor dureza relativa dessas porcelanas e à sua maior capacidade de adaptação à superfície, resultando em um contato menos agressivo com os dentes opostos (Jung et al., 2010)

O tipo de acabamento aplicado às superfícies cerâmicas restauradoras exerce

influência direta sobre o comportamento tribológico das reabilitações. Métodos de polimento clínico e laboratorial, especialmente aqueles que utilizam sequências adequadas com pontas diamantadas de granulação fina seguidas por pastas abrasivas à base de óxido de alumínio, têm se mostrado eficazes na obtenção de superfícies lisas, homogêneas e com menor potencial abrasivo para o esmalte oposto (Stawarczyk et al., 2013; Mitov et al., 2012). Embora a vitrificação possa fornecer um brilho estético superior imediatamente após a aplicação, este efeito visual pode ser comprometido durante os ajustes oclusais intraorais, que frequentemente removem a camada vítrea superficial, expondo uma morfologia irregular mais propensa à abrasão (Stawarczyk et al., 2013).

É importante destacar que a maioria dos estudos laboratoriais que investigam o desgaste de cerâmicas dentárias utiliza simuladores de desgaste de dois corpos (Figura 9), os quais, embora úteis, não reproduzem fielmente todas as condições clínicas. No meio oral, a mastigação envolve não apenas o contato direto entre dois materiais, mas também a presença de fluidos salivares e partículas alimentares que atuam como agentes lubrificantes ou abrasivos. Dessa forma, diversos autores recomendam a adoção de protocolos híbridos nos ensaios experimentais, que integrem modelos de desgaste de dois e três corpos, utilizando antagonistas padronizados, como blocos de esmalte humano ou esteatite sintética, para obtenção de resultados mais representativos da realidade clínica (Jung et al., 2010; Heintze, 2006).

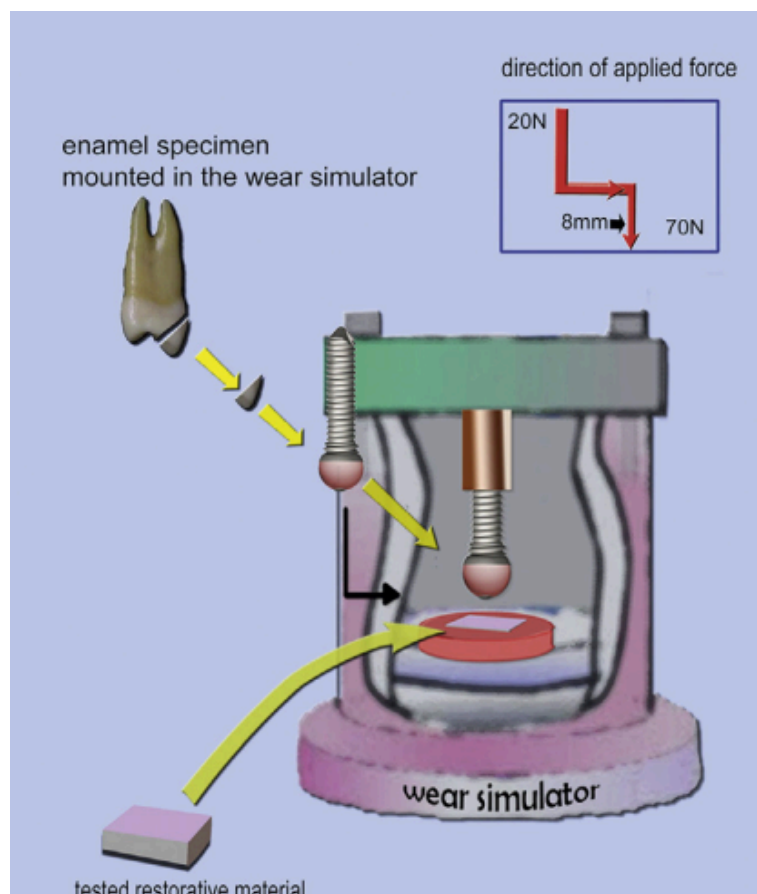


Figura 9- Simulador de desgaste (Reproduzido de Amer et al., 2014)

No que se refere às regiões posteriores da cavidade oral, áreas submetidas a elevadas cargas mastigatórias, as coroas de zircônia monolítica polida têm demonstrado níveis de desgaste aceitáveis para o esmalte antagonista, geralmente inferiores a 200 μm após dois anos de uso funcional (Lohbauer & Reich, 2017). Em contrapartida, nas zonas anteriores ou regiões estéticas, onde a demanda por translucidez e naturalidade óptica é maior, as porcelanas feldspáticas de baixa fusão constituem uma alternativa viável, desde que submetidas a protocolos de polimento cuidadosos e minuciosos, a fim de minimizar o potencial abrasivo.

Por fim, destaca-se a importância da reavaliação periódica do estado de acabamento oclusal das restaurações cerâmicas durante as consultas de manutenção preventiva. Essa prática clínica contribui significativamente para assegurar níveis reduzidos de rugosidade superficial, manter a estabilidade da função oclusal e preservar a integridade do esmalte antagonista ao longo do tempo (Habib et al., 2019).

2.4.2 Impacto clínico do desgaste dentário

A perda progressiva de tecido dentário, envolvendo esmalte e dentina, pode decorrer de mecanismos puramente mecânicos — como a atrição e a abrasão —, de processos químicos, como a erosão ácida, ou ainda de interações multifatoriais que combinam esses agentes. Essa degradação cumulativa impacta diretamente quatro domínios clínicos essenciais: a dimensão vertical de oclusão (DVO), a sensibilidade dentinária, os aspectos estéticos e fonéticos da função oral, e a longevidade das reabilitações restauradoras (Oliveira & Silva, 2023).

A diminuição da DVO (Figura 10), comumente associada ao colapso oclusal, pode atingir perdas de 3 a 5 mm, o que repercute em desequilíbrios funcionais significativos, incluindo alterações nos padrões mastigatórios, dificuldades fonéticas, e inclusive adaptações posturais (Matalon et al., 2022). Revisões integrativas apontam consequências adaptativas indesejáveis, como a supra-erupção compensatória de dentes antagonistas, migração vestibular dos incisivos superiores e aumento da sobrecarga funcional sobre os dentes remanescentes, fatores que contribuem para o agravamento da perda de altura facial e instabilidade oclusal (Santos et al., 2021).



Figura 10-Paciente com redução na Dimensão Vertical de oclusão.

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Alessandro de Paula Gomes, 2025.

Estudos clínicos demonstram que, em muitos casos, a recuperação protética gradual e controlada da DVO, até 5 mm, é bem tolerada pelo sistema estomatognático, sem induzir sintomatologia temporomandibular relevante (Matalon et al., 2022). Entretanto, essa reabilitação deve ser cuidadosamente planejada para evitar desconfortos funcionais e estruturais.

A exposição da dentina (Figura 11), comum em casos avançados de desgaste, desencadeia hipersensibilidade dentinária, uma condição crônica relacionada com a ativação de estímulos nos túbulos dentinários expostos. Pesquisas *in vivo* associam essa sintomatologia à inflamação pulpar subclínica e à redução crítica da espessura dentinária remanescente, o que compromete não apenas o conforto do paciente, mas também o desempenho de sistemas adesivos utilizados nas restaurações (Schmitter et al., 2023; Mendes & Rodrigues, 2020).



Figura 11-Exposição dentinária associada ao desgaste severo.

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Alessandro de Paula Gomes, 2025.

O desgaste acentuado de bordos incisais e cúspides interfere na relação corono-radicular, compromete a exposição dentária em repouso, prejudica a guia anterior e altera a fonética, especialmente na emissão de sons sibilantes (Santos et al., 2021). A redução da DVO modifica ainda a morfologia do terço inferior da face, com

implicações estéticas, como o afinamento do lábio superior, o aprofundamento das comissuras labiais e a maior predisposição à queilite angular (Matalon et al., 2022).

No aspecto restaurador, desequilíbrios oclusais geram uma redistribuição inadequada das forças mastigatórias, acelerando falhas mecânicas, como o *desgaste* de cerâmicas estratificadas (Figura 12) e a desadaptação ou descolamento de pinos e postes cimentados (Silva et al., 2022). A rugosidade residual resultante de ajustes oclusais inadequados pode favorecer a formação de microfissuras, reduzindo significativamente a durabilidade de restaurações como coroas e facetas cerâmicas (Schmitter et al., 2023).



Figura 12- desgaste da cerâmica de cobertura.

Fonte: Acervo cedido pelo Dr. Fábio Ferreira Ideriha, 2016.

Nesse contexto, evidências recentes sugerem que cerâmicas monolíticas altamente polidas, como a zircônia e o dissilicato de lítio, apresentam desempenho superior, com menor abrasividade ao esmalte antagonista e menor incidência de fraturas secundárias, especialmente em reabilitações extensas (Vieira et al., 2019).

Portanto, a detecção precoce dos sinais de desgaste dentário, aliada à reabilitação funcional conservadora da dimensão vertical e à escolha criteriosa de materiais restauradores com alta resistência mecânica, baixa abrasividade e estabilidade cromática, representa um pilar fundamental para a preservação da função mastigatória, do conforto do paciente e da estética orofacial a longo prazo (Oliveira & Silva, 2023).

2.4.3 Avaliação tecnológica e diagnóstico do desgaste dentário

A evolução tecnológica na medicina dentária digital tem transformado substancialmente a forma como o desgaste dentário é diagnosticado, monitorizado e documentado. Desta forma, ferramentas digitais contemporâneas oferecem uma precisão submicrométrica na detecção de alterações volumétricas, superando significativamente a subjetividade e as limitações dos métodos convencionais baseados em modelos físicos, registos fotográficos ou análise visual e dentre os recursos mais relevantes nesse contexto, destacam-se o scanner intraoral de alta resolução, softwares de sobreposição tridimensional, análise digital dos contatos oclusais, além de dispositivos laboratoriais voltados à perfilometria e à microscopia de alta definição (Kühne et al., 2021; Gkantidis et al., 2020).

A popularização dos scanners intraorais viabilizou o registo sequencial de modelos digitais das arcadas dentárias, possibilitando o acompanhamento longitudinal de perdas estruturais. A técnica de sobreposição digital desses modelos permite a identificação precisa de variações morfológicas, incluindo perda de volume dentário (em mm³), profundidade máxima de desgaste e área superficial comprometida (Schlenz et al., 2022). Estudos clínicos in vivo demonstraram que dispositivos como o Trios® (3Shape) e o Cerec Omnicam® (Dentsply Sirona) são capazes de detectar alterações erosivas iniciais com espessura $\leq 10 \mu\text{m}$, evidenciando sua alta sensibilidade diagnóstica (Kumar et al., 2019).

A sobreposição tridimensional dos modelos digitais no formato .stl é geralmente realizada por meio de algoritmos de best-fit ou por alinhamento baseado em pontos anatómicos de referência. Softwares de metrologia industrial como o GOM Inspect, Geomagic® e Siemens NX têm sido amplamente utilizados para esse fim, permitindo a análise volumétrica comparativa com alta fidelidade (Ramos et al., 2023). A precisão dessas medições está diretamente relacionada à acurácia do algoritmo de sobreposição e à densidade de pontos adquirida durante a leitura digital. Marchand et al. (2022) demonstraram que dois scanners ópticos distintos apresentaram variações inferiores a 2% na quantificação da perda volumétrica em coroas cerâmicas após 12 meses de uso clínico, validando a reprodutibilidade do método.

Em reabilitações com coroas CAD/CAM, Aladağ et al. (2019) propuseram um protocolo digital em três etapas, scan intraoral, sobreposição com software David-Laserscanner e conversão em modelo sólido utilizando Siemens NX, para quantificar a perda volumétrica em áreas específicas, com tolerância de até 0,005 mm. Essa abordagem oferece não apenas precisão metrológica, mas também a possibilidade de integração com fluxos de trabalho restauradores digitais.

No que diz respeito à análise funcional, o sistema T-Scan® III representa um avanço significativo em relação ao tradicional papel carbono, fornecendo dados objetivos sobre o tempo de contato oclusal, a sequência de ativação dentária e a distribuição de forças durante o ciclo mastigatório (Qadeer et al., 2012). Revisões sistemáticas recentes confirmam que a análise oclusal digital proporciona maior reprodutibilidade, reduz a subjetividade clínica e otimiza os ajustes de discussão em reabilitações complexas (Velasquez et al., 2023).

Além disso, dispositivos de instrumentação-força, como o Jaw Force Analyser desenvolvido por Koos et al. (2010), oferecem a capacidade de mapear a distribuição de cargas mastigatórias ao longo de todo o ciclo funcional, complementando a análise de contatos com informações dinâmicas e quantitativas sobre a intensidade da força aplicada em diferentes regiões da arcada.

Em ambiente laboratorial, ensaios de desgaste realizados com o método pin-on-disk, combinados com perfilometria óptica sem contato e scan de alta resolução, permitem a quantificação precisa de alterações topográficas antes e após simulações mecânicas. O equipamento CyberSCAN CT 100, por exemplo, alcança resolução de até 0,1 µm, enquanto a microscopia eletrônica de varrimento, ou *Scanning Electron Microscopy* (SEM) documenta com precisão a presença de fissuras, formação de cones de desgaste e danos subsuperficiais em cerâmicas restauradoras e esmalte natural (Ramos et al., 2023).

A integração entre essas tecnologias digitais, especialmente a combinação entre scan intraoral sequencial, sobreposição tridimensional e análise computadorizada dos contatos oclusais, tem se consolidado como uma estratégia robusta para o diagnóstico precoce e a monitorização longitudinal do desgaste dentário. Esta abordagem não apenas melhora a acurácia do diagnóstico clínico, como também orienta decisões

terapêuticas mais conservadoras e personalizadas, alinhadas com os princípios da medicina dentária minimamente invasiva (Schlenz et al., 2022).

Contudo, a literatura especializada destaca a necessidade urgente de padronização de parâmetros técnicos, como a força de mordida durante scan, a direção de varrimento e a densidade dos pontos adquiridos, a fim de garantir maior confiabilidade e comparabilidade entre estudos multicêntricos (Ramos et al., 2023).

2.5 COMPARAÇÃO DE MATERIAIS RESTAURADORES QUANTO À RESISTÊNCIA AO DESGASTE

As cerâmicas monolíticas de óxido de zircónia tetragonal policristalina estabilizada por ítria (Y-TZP) destacam-se pela sua elevada dureza, estabilidade química e baixa incidência de falhas por *chipping*. Evidências recentes de estudos *in vitro* e *in vivo* demonstram que coroas monolíticas polidas promovem menor desgaste vertical e volumétrico do esmalte antagonista em comparação com porcelanas feldspáticas vitrificadas (Ghaffari et al., 2022). Corroborando os resultados de Amer et al., (2014), o Y-TZP apresentou um efeito semelhante ao da porcelana feldspática convencional no desgaste do esmalte oposto, sendo que a superfície cerâmica polida (Y-TZP, porcelana feldspática e dissilicato de lítio) mostrou menor desgaste dos espécimes de esmalte antagonista do que a superfície com glaze. A remoção da camada de vitrificação seguida de polimento em múltiplas etapas contribui para a redução adicional da rugosidade superficial (Ghaffari et al., 2022). A zircónia Y-TZP com superfície polida causa um desgaste do dente antagonista semelhante ao observado em contatos naturais entre esmaltes (Zhang et al., 2019). Por outro lado, as porcelanas feldspáticas vitrificadas quase dobram a perda de estrutura do esmalte ao longo de um período de dois anos (Ghaffari et al., 2022). Quanto ao dissilicato de lítio, a ocorrência de fadiga marginal tende a se manifestar apenas após aproximadamente $1,2 \times 10^6$ ciclos mastigatórios, o que contribui para uma elevada longevidade clínica (Patil et al., 2020)

No estudo de Aljomard, Altunok e Kara (2021), os autores relatam que para minimizar o desgaste, as restaurações cerâmicas devem ter uma taxa de desgaste semelhante à do esmalte dentário (20–40 $\mu\text{m}/\text{ano}$). A zircónia monolítica mostra resultados variados quanto ao desgaste do esmalte antagonista, mas geralmente dentro

da faixa fisiológica. Os autores também relatam que a dureza do material é um fator relevante, sendo a zircônia mais rígida e dura que o esmalte e as vitrocerâmicas. No entanto, outros fatores, como o acabamento superficial, características microestruturais e degradação química do material, também influenciam o desgaste. Além disso, o aumento da rugosidade da superfície restauradora está associado a maior abrasão do esmalte, como observado com o dissilicato de lítio, que, por sofrer mais desgaste superficial, apresenta uma superfície mais áspera que a da zircônia.

A vitrocerâmica de dissilicato de lítio, utilizada em configuração monolítica e cimentada por adesão, apresenta resistência à flexão em torno de 400 MPa e comportamento tribológico semelhante ao do esmalte dentário, minimizando o desgaste do dente antagonista. Dados clínicos com seguimento médio de 32 meses indicam taxas de sobrevivência de 97,7% para restaurações com cobertura oclusal de 0,5 mm, quando suportadas por substrato de esmalte (D'Arcangelo et al., 2016). Na meta-análise conduzida por Flores-Ferreira et al. (2025), embora alguns estudos relatam que as coroas metalocerâmicas não promovem desgaste significativo do esmalte, os dados reunidos indicam que essas restaurações provocam maior abrasão do dente antagonista natural. Esse efeito é possivelmente atribuído à natureza vítrea da cerâmica de revestimento, propensa à formação de microfraturas e ao consequente aumento da rugosidade superficial. A zircônia com acabamento glazeado foi identificada como o segundo material com maior potencial abrasivo, uma vez que sua fina camada de vitrificação pode se deteriorar com o tempo, expondo a superfície subjacente mais áspera. Em contrapartida, a zircônia polida apresentou o menor índice de desgaste do esmalte antagonista, ainda que com diferenças clinicamente relevantes quando comparada ao contato esmalte-esmalte.

2.6 RECOMENDAÇÕES CLÍNICAS BASEADAS EM EVIDÊNCIA E ESTRATÉGIAS PARA MINIMIZAR O DESGASTE

A seleção adequada do material restaurador é essencial em pacientes com bruxismo ou forças oclusais elevadas e nesses casos, a literatura recomenda o uso de zircônia monolítica polida ou dissilicato de lítio polido, em detrimento de porcelanas feldspáticas vitrificadas, devido ao seu maior potencial de abrasão do esmalte

antagonista (Ghaffari et al., 2022). A zircônia polida tem demonstrado causar o menor grau de desgaste, embora restaurações monolíticas deste material, quando submetidas a forças mastigatórias intensas, possam acelerar a perda do esmalte oposto. Ainda assim, esse material permanece entre as opções mais seguras, desde que utilizado com critério clínico rigoroso (Aljomard, Altunok & Kara, 2021).

Estudos demonstram que o desgaste é maior nas superfícies opostas a coroas de metalocerâmica, seguido pelas de zircônia glazeada e, por fim, pelas de zircônia polida, que apresenta os menores valores de abrasividade (Flores-Ferreira et al., 2025). As restaurações monolíticas de zircônia têm mostrado um padrão de desgaste considerado clinicamente aceitável, não havendo diferença estatisticamente significativa entre o desgaste observado no par zircônia-esmalte e no par esmalte-esmalte. Já zircônia polida é particularmente eficaz na preservação do esmalte antagonista, sendo o repolimento após o ajuste clínico essencial para minimizar a abrasividade. No entanto, em pacientes com bruxismo ou apertamento dentário severo, o uso de restaurações em zircônia monolítica pode levar a um desgaste acelerado do esmalte oposto devido ao aumento da força aplicada sobre a restauração (Aljomard, Altunok e Kara., 2021)

A espessura da restauração também influencia diretamente a sua longevidade e o seu impacto biomecânico, mostrando que coberturas em dissilicato de lítio com apenas 0,5 mm de espessura, quando aplicadas sobre esmalte, resistem a cargas de fratura semelhantes às de estruturas mais espessas colocadas sobre dentina, permitindo preparos mais conservadores e minimamente invasivos (D'Arcangelo et al., 2016).

Outro fator crítico é o acabamento superficial, destacando que o polimento multietapas com pontas de silicone diamantadas deve substituir a vitrificação sempre que possível. Esse tipo de acabamento proporciona uma rugosidade superficial inferior a 0,1 μm , valor semelhante ao do esmalte natural, o que reduz consideravelmente o atrito e, por consequência, o desgaste do dente antagonista (Ghaffari et al., 2022). Após qualquer ajuste oclusal, o repolimento intraoral é imprescindível, sendo que placas de zircônia polida apresentam, em média, rugosidade de 0,08 μm , enquanto superfícies vitrificadas alcançam até 0,25 μm , o que resulta em quase o dobro de desgaste em estudos clínicos com seis meses de acompanhamento. No caso das cerâmicas feldspáticas com partículas maiores, é indicada a aplicação de sistemas de polimento que utilizam pastas diamantadas de 1 μm seguidas de óxido de alumina, a fim de reduzir

a abrasividade residual (Alfrisany et al., 2019).

A oclusão também exerce papel fundamental na longevidade da restauração e na preservação do esmalte antagonista, sendo essencial eliminar de contatos prematuros, especialmente em cristas marginais afastadas do eixo mecânico, para minimizar forças transversais que favorecem microfraturas e desgastes localizados (Sutthiboonyapan & Wang, 2019). Após cada ajuste, recomenda-se o polimento fino das áreas modificadas, já que superfícies com rugosidade superior a 0,2 μm aceleram a perda de estrutura dentária (Alfrisany et al., 2019).

Em termos de manutenção, é recomendada a realização periódica de scans tridimensionais dos dentes antagonistas, com o objetivo de detectar precocemente perdas verticais superiores a 40 $\mu\text{m}/\text{ano}$ (Esquivel-Ushaw et al., 2018). A proteção oclusal com placas rígidas em resina acrílica tem mostrado eficácia em pacientes bruxômanos, com significativa redução nas taxas de falha de facetas feldspáticas, de 36% para 11% em um período de oito anos (Schmitter et al., 2023). Sutthiboonyapan & Wang (2019), recomendam o uso contínuo de placas noturnas em reabilitações com zircônia monolítica ou dissilicato de lítio, destacando uma redução expressiva no desgaste vertical ($\approx 14 \mu\text{m}/\text{ano}$) em comparação a reabilitação não protegidas .

Diante dessas evidências, cabe ao clínico selecionar o material mais adequado com base nas características funcionais e estruturais de cada paciente. A zircônia polida, de modo geral, apresenta desempenho superior em termos de preservação do esmalte antagonista. No entanto, permanece a necessidade de novos ensaios clínicos com maior poder estatístico e períodos de seguimento prolongados, a fim de aprofundar o entendimento dos mecanismos envolvidos no desgaste do esmalte em contato com materiais cerâmicos restauradores (Flores-Ferreira et al., 2025).

2.7 LACUNAS

A literatura carece de protocolos tribológicos normalizados, dados clínicos além de cinco anos e estudos sobre cerâmicas produzidas por fabrico aditivo (Ramos et al., 2023) .

2.8 DIREÇÕES FUTURAS DE INVESTIGAÇÃO

Recomenda-se a realização de ensaios multicêntricos randomizados com digitalização intra-oral seriada, modelos *in vitro* que incorporem ciclos de pH e lubrificação fisiológicos, e avaliação sistemática de cerâmicas (Ghaffari et al., 2022) .

3. CONCLUSÃO

-O desgaste dentário é um processo multifatorial que afeta tanto dentes naturais como os materiais restauradores, influenciado por fatores mecânicos, químicos e funcionais. Na medicina dentária, a sua compreensão é essencial para o diagnóstico, planeamento clínico e interpretação de hábitos alimentares antigos;

-Diante da maior longevidade da população, torna-se fundamental desenvolver estratégias e materiais que preservem a estrutura dentária, garantindo função e estética a longo prazo;

-Comparado os dentes naturais e os materiais cerâmicos, em geral, os materiais cerâmicos produzem mais desgaste do esmalte do dente que o esmalte natural no dente antagonista, sendo o sistema metalocerâmico com probabilidade de causar desgastes maior do esmalte;

-O dissilicato de lítio surge como opção equilibrada entre resistência e estética, enquanto porcelanas feldspáticas mantêm indicação restrita a setores de baixa carga;

-A zircónia monolítica polida também apresenta níveis de desgaste do esmalte inferiores quando comparada às cerâmicas metalocerâmicas, porcelanas feldspáticas e ao dissilicato de lítio;

-O desgaste do esmalte é um processo fisiológico que se intensifica na presença de materiais restauradores cerâmicos, sendo mais acentuado com coroas de metalocerâmica, seguido por zircónia glazeada e, em menor grau, zircónia polida;

-As restaurações monolíticas de zircónia apresentam um desgaste antagonista clinicamente aceitável, comparável ao desgaste entre dentes naturais, especialmente quando polidas e repolidas após o ajuste clínico. Contudo, em casos de bruxismo ou apertamento intenso, pode haver aumento significativo do desgaste devido à maior carga funcional sobre a restauração.

4. BIBLIOGRAFIA

Alao, A. R., Stoll, R., Song, X.-F., Miyazaki, T., Hotta, Y., Shibata, Y., & Yin, L. (2017). Surface quality of yttria-stabilised tetragonal zirconia polycrystal in CAD/CAM milling, sintering, polishing and sandblasting processes. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 65, 102–116. <https://doi.org/10.1016/j.imbbm.2016.08.021>

Aladağ, A., Turkyilmaz, I., & Toksavul, S. (2019). Volumetric wear evaluation of CAD/CAM crowns using 3D superimposition techniques. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 121(4), 693-700.

Albashaireh, Z. S. M., Yang, B., Peutzfeldt, A., & Ott, K. H. (2010). Two-body wear of different ceramic materials opposed to zirconia ceramic. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 104(2), 105–113

Aljomard, Y. R. M., Altunok, E. Ç., & Kara, H. B. (2021). Enamel wear against monolithic zirconia restorations: A meta-analysis and systematic review of in vitro studies. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. <https://doi.org/10.1111/jerd.12823>

Alfonard, Y. R., Altunok, F. C., & Kara, H. B. (2022). Enamel wear against monolithic zirconia restorations: A meta-analysis and systematic review of in vitro studies. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(3), 475–489. <https://doi.org/10.1111/jerd.12825>

Alfrisany, N. M., Shokati, B., Tam, L. E., & De Souza, G. M. (2019). Simulated occlusal adjustments and their effects on zirconia and antagonist artificial enamel. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 11, 321-330.

Amer, R., Kürklü, D., Kateeb, E., & Seghi, R. R. (2014). Three-body wear potential of dental yttrium-stabilized zirconia ceramic after grinding, polishing, and glazing treatments. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(5), 1151–1155. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2013.12.021>

Amoroso, A. P., Ferreira, M. B., Torcato, L. B., Pellizzer, E. P., Mazaro, J. V. Q., &

Gennari Filho, H. (2012). Cerâmicas odontológicas: Propriedades, indicações e considerações clínicas. *Revista Odontológica de Araçatuba*, 33(2), 19–25.

Anusavice, K. J., Shen, C., & Rawls, H. R. (2013). *Phillips materiais dentários* (12ª ed., cap. 18, pp. 418–473). Elsevier.

Borrero-López, O., Cano-Batalla, J., García, D., & Jiménez-Piqué, E. (2019). Wear of ceramic-based dental materials. *Materials*, 13(16), 3525. <https://doi.org/10.3390/ma13163525>

Branco, P. A., Oliveira, R. T., Costa, L. R., & Pereira, M. M. (2020). Uma revisão do estado da arte sobre o desgaste das superfícies oclusais dos dentes naturais e das coroas protéticas. *Materials*, 13, 3525.

Cardoso, K. V., Adabo, G. L., Mariscal-Muñoz, E., Antonio, S. G., & Arioli Filho, J. N. (2020). Effect of sintering temperature on microstructure, flexural strength, and optical properties of a fully stabilised monolithic zirconia. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 124, 594–598. <https://doi.org/10.1016/j.prostient.2019.08.007>

Cha, H.-S., Park, J.-M., Kim, T.-H., & Lee, J.-H. (2019). Wear resistance of 3D-printed denture tooth resin opposing zirconia and metal antagonists. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2019.07.010>

Craig, R. G. (2012). *Materiais dentários restauradores* (13ª ed., Cap. 7, pp. 149–153). Editora Santos.

Coldea, A., Swain, M. V., & Thiel, N. (2013). Mechanical properties of polymer-infiltrated-ceramic-network materials. *Dental Materials*, 29(4), 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2013.01.002>

Cortellini, D., & Canale, A. (2012). Bonding lithium disilicate ceramic to feather-edge tooth preparations: A minimally invasive treatment concept. *Journal of Adhesive Dentistry*, 14(1), 7–10. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a22708>

Da Silva, F., Lima, F. A., Costa, M. B., & Souza, J. A. (2018). Materiais cerâmicos: Uma revisão sistemática sobre desgaste e longevidade. *Journal of Dentistry & Public Health*, 9(1), 85–94. <https://doi.org/10.17267/2596-3368dentistry.v9i1.1779>

- D'Arcangelo, C., Vanini, L., Rondoni, G. D., & De Angelis, F. (2016). Wear properties of dental ceramics and porcelains compared with human enamel. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(3), 350–355. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.09.010>
- Della Bonna, A., Anusavice, K. J., & Mecholsky, J. J. (2004). Fracture behavior of lithia disilicate- and leucite-based ceramics. *Dental Materials*, 20(10), 956–962.
- Denry, I. (2013). How and when does fabrication damage adversely affect the clinical performance of ceramic restorations? *Dental Materials*, 27(1), 99–105.
- Díaz, G., & Vanina, R. (2025). Desgaste dental en dientes naturales antagonistas a coronas de zirconia monolítica vs. metal-cerámica. Revisión sistematizada. *Odontología Vital*, 1(42). <https://doi.org/10.59334/rov.v1i42.616>
- Esquivel-Upshaw, J. F., Rose, W. F., Oliveira, E. R., Yang, M. C., Clark, A. E., & Anusavice, K. J. (2013). Randomized, controlled clinical trial of bilayer ceramic and metal-ceramic crown performance. *Journal of Prosthodontics*, 22, 166–173.
- Esquivel-Upshaw, J. F., Kim, M. J., Hsu, S. M., Abdulhameed, N., Jenkins, R., & Neal, D. (2018). Randomised clinical study of wear of enamel antagonists against polished monolithic zirconia crowns. *Journal of Dentistry*, 68, 19–27.
- Flores-Ferreira, B. I., Argueta-Figueroa, L., Torres-Rosas, R., Carrasco-Gutiérrez, R. G., Casillas-Santana, M. A., & de Los Angeles Moyaho-Bernal, M. (2025). Dental human enamel wear caused by ceramic antagonists: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Prosthodontic Research*, 69(2), 153–162. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_23_00263
- Garcia, L. F. R., Consani, S., Cruz, P. C., & Pires de Souza, F. C. P. (2011). Análise crítica do histórico e desenvolvimento das cerâmicas odontológicas. *RGO - Revista Gaúcha de Odontologia*, 59(Suppl. 0), 67–73.
- Gehrt, M., Wolfart, S., Rafai, N., Reich, S., & Edelhoff, D. (2013). Clinical results of lithium-disilicate crowns after up to 9 years of service. *Clinical Oral Investigations*, 17(1), 275–284. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0700-x>
- Ghaffari, T., Hamed Rad, F., Goftari, A., & Pashazadeh, F. (2022). Natural teeth wear

opposite to glazed and polished ceramic crowns: A systematic review. *Dental Research Journal*, 19, 108. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.363567>Lippincott

Gkantidis, N., Dritsas, K., Ren, Y., Halazonetis, D., & Katsaros, C. (2020). An accurate and efficient method for occlusal tooth wear assessment using 3D digital dental models. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66534-4>

Gomes, E. A., Assunção, W. G., Rocha, E. P., & Santos, P. H. (2008). Cerâmicas odontológicas: O estado atual. *Cerâmica*, 54(331), 319–325. <https://doi.org/10.1590/S0366-69132008000300008>

Gonzalez-Bonilla, S Berrendero, B Moron-Conejo, F Martinez-Rus, & Salido, M. (2024). Clinical evaluation of posterior zirconia-based and porcelain-fused-to-metal crowns with a vertical preparation technique: an up to 5-year retrospective cohort study. *Journal of Dentistry*, 104953–104953. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104953>

Guarnieri, F. D. F., Assunção, W. G., Moreno, J. M. L., Ramos, F. de S. E. S., Esteves, L. M. B., Briso, A. L. F., & Fagundes, T. C. (2021). Conservative management for ceramic laminate veneers using digital workflow: Case report with 18-month follow up. *Research, Society and Development*, 10(4), e1710413633.

Guess, P. C., Zavanelli, R. A., Silva, N. R., Bonfante, E. A., Coelho, P. G., & Thompson, V. P. (2010). Monolithic CAD/CAM lithium disilicate versus veneered Y-TZP crowns: Comparison of failure modes and reliability after fatigue. *International Journal of Prosthodontics*, 23(5), 434-442

Guess, P. C., Schultheis, S., Bonfante, E. A., Coelho, P. G., Ferencz, J. L., & Silva, N. R. F. A. (2011). All-ceramic systems: Laboratory and clinical performance. *Dental Clinics of North America*, 55(2), 333–352.

Habib, S. R., Alotaibi, A., Al Hazza, N., Allam, Y., & AlGhazi, M. (2019). Two-body wear behaviour of human enamel versus monolithic zirconia, lithium disilicate, ceramometal and composite resin. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 11, 23–31.

Harada, K., Raigrodski, A. J., Chung, K.-H., Flinn, B. D., Dogan, S., & Mancl, L. A. (2016). A comparative evaluation of thn 6

Heintze, S. D. (2006). How to qualify and validate wear simulation devices and methods. *Dental Materials*, 22, 712–734.

Jitwirachot, K., Chotprasert, N., & Sirisathit, S. (2022). Wear behavior of different generations of zirconia: Present literature. *International Journal of Dentistry*, 2022, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2022/7483921>

Jung, Y. S., Lee, J. W., Choi, Y. J., Ahn, J. S., Shin, S. W., & Huh, J. B. (2010). In vitro wear of the natural tooth structure by opposing zirconia or dental porcelain. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 2, 111–115.

Kontos L., Schille C., Schweizer E., & Geis-Gerstorfer J. (2013). Influence of surface treatment on the wear of solid zirconia. *Acta Odontologica Scandinavica*, 71(3-4), 482–487.

Koos, B., Godt, A., & Schille, C. (2010). Jaw Force Analyzer: A new device for dynamic analysis of masticatory forces. *Journal of Oral Rehabilitation*, 37(8), 598–605.

Kou, W., Molin, M., & Sjögren, G. (2006). Surface roughness of five different dental ceramic core materials after grinding and polishing. *Journal of Oral Rehabilitation*, 33, 117–124.

Kukiattrakoon B., Hengtrakool C., & Kedjarune-Leggat U. (2010). The effect of acidic agents on surface ion leaching and surface characteristics of dental porcelains. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 103(3), 148–162.

Kühne, C., Lohbauer, U., Raith, S., & Reich, S. (2021). Measurement of Tooth Wear by Means of Digital Impressions: An In-Vitro Evaluation of Three Intraoral Scanning Systems. *Applied Sciences*, 11(11), 5161. <https://doi.org/10.3390/app11115161>

Kumar, S., Arora, A., Yadav, R., & Sehgal, S. (2019). Accuracy of intraoral scanners in detecting early erosive tooth wear: An in vivo comparative study. *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, 11(11), e1042–e1047

Lohbauer, U., & Reich, S. (2017). Antagonist wear of monolithic zirconia crowns after 2 years. *Clinical Oral Investigations*, 21, 1165–1172. <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1886-8>

Maier, E., Grottschreiber, C., Knepper, I., Opdam, N., Petschelt, A., Loomans, B., & Lohbauer, U. (2022). Evaluation of wear behavior of dental restorative materials against zirconia in vitro. *Dental Materials*, 38(5), 778–788. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2022.04.016>

Mao, Z., Beuer, F., Hey, J., Schmidt, F., Sorensen, J. A., & Prause, E. (2024). Antagonist enamel tooth wear produced by different dental ceramic systems: A systematic review and network meta-analysis of controlled clinical trials. *Journal of Dentistry*, 142, 104832. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2024.104832>

Marchand, J. A., Bidault, F., & Morand, M. (2022). Comparative analysis of 3D superimposition algorithms for dental wear evaluation in CAD/CAM crowns. *International Journal of Computerized Dentistry*, 25(1), 17–25

Matalon, S., Heller, H., Ilan Beitlitum, Weinberg, E., Emodi-Perlman, A., & Shifra Levartovsky. (2022). Retrospective 1- to 8-Year Follow-Up Study of Complete Oral Rehabilitation Using Monolithic Zirconia Restorations with Increased Vertical Dimension of Occlusion in Patients with Bruxism. *Journal of Clinical Medicine*, 11(18), 5314–5314. <https://doi.org/10.3390/jcm11185314>

Mitov, G., Heintze, S. D., Walz, S., Wüll, K., Mücke-lich, F., & Pospiech, P. (2012). Wear behaviour of dental Y-TZP ceramic against natural enamel after different finishing procedures. *Dental Materials*, 28, 909–918.

Mendes, A. P., & Rodrigues, P. F. (2020). Desgaste dentário oclusal: restaurações directas versus indirectas. *Revista Portuguesa de Estomatologia e Medicina Dentária*, 61, 45–53.

Mohammadibassir, M., Rezvani, M. B., Golzari, H., Moravej Salehi, E., Fahimi, M. A., & Kharazi Fard, M. J. (2019). Effect of two polishing systems on surface roughness, topography, and flexural strength of a monolithic lithium disilicate ceramic. *Journal of Prosthodontics*, 28(1), e199–e206.

Mundhe, K., Jain, V., Pruthi, G., & Shah, N. (2015). Clinical study to evaluate the wear of natural enamel antagonist to zirconia and metal ceramic crowns. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(3), 358–363. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.03.001>

Nakamura, K., Harada, A., Jagashi, R., Kanno, T., Niwano, Y., Milleding, P., &

- Ortengren, U. (2015). Fracture resistance of monolithic zirconia molar crowns with reduced thickness. *Acta Odontologica Scandinavica*, 75, 602–608. <https://doi.org/10.3109/00016537.2015.1077479>
- Oliveira, R. M., & Silva, C. A. (2023). Uma revisão de última geração sobre o desgaste das superfícies oclusais de dentes naturais e coroas protéticas. *Materials*, 16(4), 1–33
- Patil, S., Nazirkar, G., Shelke, P., & Mahagaonkar, P. (2020). Comparative evaluation of natural enamel wear against polished yttria-tetragonal zirconia and polished lithium disilicate: An in vivo study. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 20(1), 83–89.
- Pereira, R. M., Ribas, R. G., Schatkoski, V. M., Rodrigues, K. F., Kito, L. T., Kobo, L. K., Tiago, L., Bonfante, E. A., Gierthmuehlen, P. C., Spitznagel, F. A., & Thim, G. P. (2023). An engineering perspective of ceramics applied in dental reconstructions. *Journal of Applied Oral Science*, 31, e20220421. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2022-0421>
- Pieger, S., Salman, A., & Bidra, A. S. (2014). Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: A systematic review. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(1), 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.01.005>
- Porto, T. S., Faddoul, A. J., Park, S. J., Feitosa, V. P., Eyüboğlu, T. F., & Ozcan, M. (2024). Optimal hydrofluoric acid etching duration and impact of silane/adhesive on profilometric properties and bonding to lithium disilicate glass ceramics. *Operative Dentistry*, 49(5), 617–626. <https://doi.org/10.2341/24-015-L>
- Pjetursson, B. E., Sailer, I., Zwahlen, M., & Hämmerle, C. H. F. (2007). A systematic review of the survival and complication rates of full-ceramic and metal-ceramic reconstructions after a minimum observation period of three years. Part I: Single crowns. *Clinical Oral Implants Research*, 18(Suppl. 3), 73–85.
- Qadeer, S., Conejo, J., & Faulkner, K. D. (2012). Clinical assessment of computerized occlusal analysis: a review of the T-Scan III system. *Compendium of Continuing Education in Dentistry*, 33(6), e86–e90.
- Ramos, N., Silva, L., Rocha, M., & Oliveira, T. (2023). Wear of dental ceramics. *Brazilian Dental Science*, 26(1), e3638. <https://doi.org/10.4322/bds.2023.e3638>

Raposo, L. H. A., Davi, L. R., Júnior, P. C. S., Neves, F. D., Soares, P. V., Simamoto, V. R. N., Machado, A. C., Pereira, A. G., & Borella, P. S. (2014). Restaurações totalmente cerâmicas: características, aplicações clínicas e longevidade (Vol. 2, pp. 1–66). São Paulo: Pro-Odonto Prótese e Dentística.

Reich, S., & Schierz, O. (2013). Chair-side generated posterior lithium disilicate crowns after 4 years. *Clinical Oral Investigations*, 17(7), 1765-1772. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0868-0>

Rinke, S., & Fischer, C. (2013). Range of indications for translucent zirconia modifications: Clinical and technical aspects. *Quintessence International*, 44, 557–566. <https://doi.org/10.3290/j.dia29937>

Rauch, A., Reich, S., Dalchau, L., & Schierz, O. (2018). Clinical survival of chair-side generated monolithic lithium disilicate crowns: 10-year results. *Clinical Oral Investigations*, 22(4), 1763-1769. <https://doi.org/10.1007/s00784-017-2271-3>

Santos, M., Lopes, C., & Almeida, J. (2021). Implicações estéticas da perda de dimensão vertical: revisão integrativa. *European Journal of Prosthodontics*, 9, 89–97.

Silva, R., Costa, A. P., & Moura, L. (2022). Falhas técnicas em laminados cerâmicos: análise crítica. *Revista Brasileira de Odontologia Restauradora*, 29, 14–25.

Schmitter, M., Bömicke, W., Behnisch, R., Lorenzo Bermejo, J., Waldecker, M., Rammelsberg, P., & Ohlmann, B. (2023). Ceramic Crowns and Sleep Bruxism: First Results from a Randomized Trial. *Journal of Clinical Medicine*, 12(1), 273. <https://doi.org/10.3390/jcm12010273>

Schlenz, M. A., Schlenz, M. B., Wöstmann, B., Jungert, A., & Ganss, C. (2022). Intraoral scanner-based monitoring of tooth wear in young adults: 12-month results. *Clinical Oral Investigations*, 26(2), 1869–1878. <https://doi.org/10.1007/s00784-021-04162-6>

Schlueter, N., Amaechi, Bennett T., Bartlett, D., Buzalaf, M., Carvalho, T., Ganss, C., Hara, Anderson T., Huysmans, Marie-Charlotte D. N. J. M., Lussi, A., Moazzez, R., Vieira, A., West, Nicola X., Wiegand, A., Young, A., & Lippert, F. (2020). Terminology of Erosive Tooth Wear: Consensus Report of a Workshop Organized by the ORCA and the Cariology Research Group of the IADR. *Caries Research*, 1–5.

<https://doi.org/10.1159/000503308>

Schultheis, S., Strub, J. R., Vieira, L. C., & Kern, M. (2013). Monolithic and bi-layer CAD/CAM lithium-disilicate versus metal-ceramic fixed dental prostheses: Comparison of fracture loads and failure modes after fatigue. *Clinical Oral Investigations*, 17(5), 1407-1413. <https://doi.org/10.1007/s00784-012-0830-1>

Shah, N., Nerkar, H., Badwaik, P., Ahuja, B., Malu, R., & Bhanushali, N. (2024). An evaluation of antagonist enamel wear opposing full-coverage zirconia crowns versus other ceramics full-coverage crowns and natural enamel – An umbrella review. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 24(3), 217–224. https://doi.org/10.4103/jips.jips_32_24

Sorrentino, R., Nagasawa, Y., Infelise, M., Bonadeo, G., & Ferrari, M. (2018). In vitro analysis of the fracture resistance of CAD-CAM monolithic lithium disilicate molar crowns with different occlusal thickness. *Journal of Osseointegration*, 10(2), 50-56. <https://doi.org/10.23805/jo.2018.10.02.04>

Sripetchdanond, J., & Leevailoj, C. (2014). Wear of human enamel opposing monolithic zirconia, glass ceramic, and composite resin: An in vitro study. *Journal of Prosthetic Dentistry*, 112(5), 1141–1150.

Stawarczyk, B., Özcan, M., Schmutz, F., Trottmann, A., Roos, M., & Hämmerle, C. H. F. (2013). Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists. *Acta Odontologica Scandinavica*, 71, 102–112. <https://doi.org/10.3109/00016535.2012.654248>

Sutthiboonyapan, P., & Wang, H.-L. (2019). Occlusal splints for implant-supported prostheses in bruxers: A narrative review. *Clinical Oral Implants Research*, 30, 1092-1099.

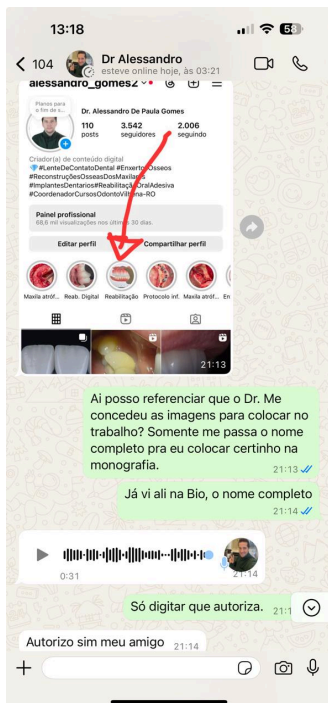
Swain M. V. (2014). Impact of oral fluids on dental ceramics: What is the clinical relevance? *Dental Materials*, 30(1), 33–42.

Velasquez, P. L., Garcia, L. T., & Singh, P. (2023). Digital occlusal analysis in clinical practice: a systematic review of accuracy and reproducibility. *Clinical Oral Investigations*, 27(1), 215–224.

- Vieira, H., Sousa, D., & Rodrigues, A. (2019). Cerâmicas monolíticas na reabilitação de perdas severas de dimensão vertical de oclusão: revisão sistemática. *Journal of Advanced Prosthodontics*, 11, 201–212.
- Walton, T. R. (2013). Survival up to twenty-five years and clinical performance of 2,340 gold-based metal-ceramic single crowns. *International Journal of Prosthodontics*, 26, 151–160.
- Warreth, A., & Elkareimi, Y. (2020). All-ceramic restorations: a review of literature. *The Saudi Dental Journal*, 32(8). <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2020.05.004>
- Wendler M., Kaizer M. R., Belli R., Lohbauer U., & Zhang Y. (2020). Sliding contact wear and subsurface damage of CAD/CAM materials against zirconia. *Dental Materials*, 36(3), 387–401.
- Yousry, M., Hammad, I., El Halawani, M., & Aboushelib, M. (2024). Translucency of recent zirconia materials and material-related variables affecting their translucency: A systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 24, 309. <https://doi.org/10.1186/s12903-024-04070-7>
- Zhang F., Spies B. C., Vleugels J., Reveron H., Wesemann C., Müller W. D., et al. (2019). High-translucent yttria-stabilized zirconia ceramics are wear-resistant and antagonist-friendly. *Dental Materials*, 35(12), 1776–1790.
- Zhang, Y. (2014). Making yttria-stabilised tetragonal zirconia translucent. *Dental Materials*, 30, 1195–1203. <https://doi.org/10.1016/dental.2014.08.375>
- Zhang, Y., Lee, J. B., Skharth, R., & Laura, B. R. (2013). Edge clipping and flexural resistance of monolithic ceramics. *Dental Materials*, 29, 1201–1208. <https://doi.org/10.1016/dental.2013.09.004>
- Zhi, L., Bortolotto, T., & Krejci, I. (2016). Comparative in vitro wear resistance of CAD/CAM composite resin and ceramic materials. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 115(2), 199–202. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2015.07.010>

5. ANEXOS

Anexo 1 - Captura do Ecrã com resposta autorizando o uso da imagem, referente às Figuras 8, 10 e 11.

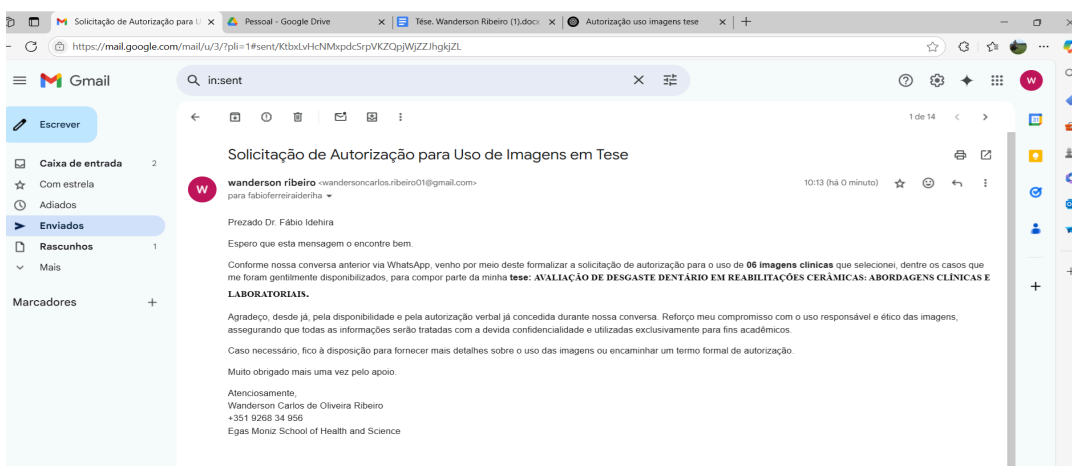


Anexo 2 - Captura do Ecrã com pedido de autorização para o uso da imagem, referente à Figura 9.



Anexo 3 - Captura do Ecrã com pedido de autorização para o uso da imagem, referente às Figuras 2, 3, 5,

6, 7 e 12.



Anexo 4 - Captura do Ecrã com pedido de autorização para uso de imagem, referente à figura 4.

