



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

Bruno Manoel Medeiros e Silva

Efeito do ácido gástrico simulado na estabilidade da cor, rugosidade de superfície e microdureza de uma resina impressa 3D para coroas e pontes.

FLORIANÓPOLIS

2026

Bruno Manoel Medeiros e Silva

Efeito do ácido gástrico simulado na estabilidade da cor, rugosidade de superfície e microdureza de uma resina impressa 3D para coroas e pontes.

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Graduação em Odontologia do Centro Ciências da Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Cirurgião-Dentista.

Orientador(a): Profa. Dra. Thaís Marques Simek Vega Gonçalves

Coorientador: Henrique César Schimitz Gassen

Florianópolis

2026

Silva, Bruno

Efeito do ácido gástrico simulado na estabilidade da cor, rugosidade de superfície e microdureza de uma resina impressa 3D para coroas e pontes. / Bruno Silva ; orientadora, Thais Gonçalves, coorientador, Henrique Gassen, 2026.

47 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Saúde, Graduação em Odontologia, Florianópolis, 2026.

Inclui referências.

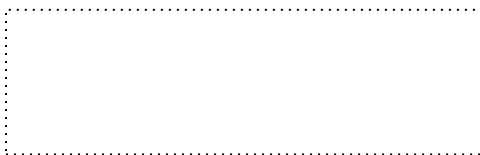
1. Odontologia. 2. Resina de Impressão 3D. 3. Ácido Gástrico. 4. Estabilidade de Cor. I. Gonçalves, Thais. II. Gassen, Henrique. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Odontologia. IV. Título.

Bruno Manoel Medeiros e Silva

Efeito do ácido gástrico simulado na estabilidade da cor, rugosidade de superfície e microdureza de uma resina impressa 3D para coroas e pontes.

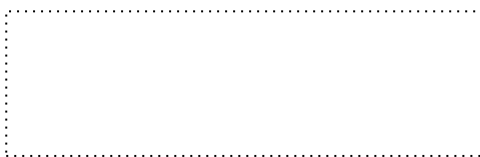
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Cirurgião-Dentista e aprovado em sua forma final pelo Curso de Odontologia.

Florianópolis, 06 de Maio de 2026.



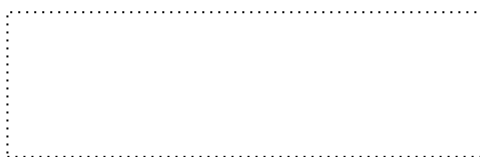
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Profa. Dra. Thaís Marques Simek Veja Gonçalves

Orientadora



Me. Zuíla Maria Lobato Wanghon

Universidade Federal de Santa Catarina



Me. Laura Costa Beber Copetti

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2026.

Dedico este trabalho aos meus pais. Esta conquista também é de vocês, pois sem o carinho, os ensinamentos e os sacrifícios que fizeram por mim, eu não teria chegado até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Silézio Santos e Evânia Cunha, por todo o amor, apoio incondicional, incentivo constante e pelos valores que me ensinaram ao longo da vida. Vocês foram a base que sustentou cada etapa da minha caminhada, sempre acreditando em mim mesmo nos momentos em que eu mesmo duvidei. Todo o esforço, os sacrifícios e a dedicação de vocês foram fundamentais para que eu chegasse até esse momento.

Ao meu irmão, José Bernardo, pelo companheirismo, amizade verdadeira e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, compartilhando alegrias, desafios e aprendizados. Sua presença tornou essa trajetória mais leve e significativa.

À minha namorada, Tiffany Franzoi, pelo carinho, paciência, compreensão e por me apoiar durante toda essa trajetória acadêmica, especialmente nos momentos mais difíceis. Obrigado por estar presente nos dias de ansiedade, por celebrar comigo cada pequena conquista e por me motivar a seguir em frente quando o cansaço e as dúvidas apareciam.

À minha orientadora, Profa. Dra. Thais Marques Simek Vega Gonçalves, por toda a orientação, dedicação, disponibilidade e pelo comprometimento com a minha formação acadêmica. Agradeço pela confiança depositada em mim, pelos ensinamentos compartilhados, pelas correções sempre construtivas e pela condução cuidadosa deste trabalho, que foram essenciais para o meu crescimento científico e profissional.

Aos colegas do projeto de extensão em Prótese Parcial Removível (PPR), pelas trocas de conhecimento, experiências compartilhadas e aprendizado construído ao longo das atividades clínicas e acadêmicas que, em conjunto, contribuíram não apenas para minha formação profissional, mas também para meu amadurecimento pessoal.

Ao meu colega e dupla de curso, Alisson Luiz, pela parceria, pelo companheirismo e por dividir comigo os desafios, responsabilidades e conquistas ao longo de toda a graduação. Caminhar ao seu lado tornou essa jornada mais leve, mais produtiva e certamente mais memorável.

Aos professores do curso de Odontologia da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação,

transmitindo conhecimentos, valores éticos e ensinamentos que levarei por toda a minha vida profissional.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade, atenção dedicada à leitura deste trabalho e pelas valiosas contribuições e sugestões, que certamente enriqueceram esta pesquisa e ampliaram minha visão científica.

A Wilcos e à Dra. Marina Calegari Pagno, que acreditaram no meu trabalho e forneceram os espécimes, sem o apoio deles não seria possível a realização do trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação pessoal e profissional e para a realização deste sonho. Cada palavra de incentivo, cada gesto de apoio e cada oportunidade oferecida foram essenciais para que este momento se tornasse realidade.

“Grandes realizações não são feitas por impulso, mas por uma soma de pequenas realizações.” — Vicent van Gogh

RESUMO

A doença do refluxo gastroesofágico e bulimia são condições importantes que podem comprometer a durabilidade clínica de materiais restauradores devido à ação superficial e consequente redução do pH oral. Paralelamente, a evolução das resinas de impressão 3D permitiu a ampliação das indicações clínicas e sua aplicação em restaurações definitivas unitárias. Contudo, informações sobre o comportamento desses materiais à exposição ao ácido gástrico e à redução de pH são ainda limitadas. Assim, o presente estudo teve por objetivo avaliar o efeito do ácido gástrico simulado sobre a superfície de uma resina de impressão 3D e a possível interação desse material com soluções corantes. O tamanho da amostra foi definido com base em um estudo piloto, totalizando 45 espécimes, os quais foram confeccionados pelo fabricante, utilizando-se a resina de impressão 3D reforçada (Varseo Smile (Bego, Alemanha), indicada para coroas e pontes. Após a limpeza ultrassônica, os espécimes foram submetidos ao envelhecimento artificial em termocicladora (OMC 350 TS, Odeme, Brasil) (5000 ciclos, 5 °C a 55 °C). A cor inicial, a rugosidade superficial e a microdureza Vickers foram então mensuradas e utilizadas como referência inicial (baseline). Em seguida, os espécimes foram distribuídos aleatoriamente em 2 grupos: experimental, exposto ao ácido gástrico simulado (HCl, pH 1,2), e controle, imersos em saliva artificial (n = 20 por grupo). A cor e a rugosidade superficial foram novamente avaliadas após 96 e 168 horas, e a cor, a rugosidade e a microdureza foram novamente mensuradas após 240 horas de imersão a 37°C. Finalizado o desafio ácido, os espécimes foram imersos em 2 soluções corantes (café preto e vinho tinto) sendo a água destilada utilizada como controle (n = 5 por solução). As soluções foram renovadas diariamente, e as análises de cor e rugosidade foram feitas após 2,5 e 5 dias. De forma semelhante, a cor, rugosidade e microdureza foram reavaliadas após 7 dias. A avaliação colorimétrica foi realizada pelo método espectrofotométrico sendo as diferenças cromáticas calculadas pela fórmula CIEDE 2000 (ΔE_{00}). A rugosidade superficial foi determinada por perfilometria (DektakXT Stylus, Bruker, EUA), e a microdureza por microdurômetro Vickers (VH1102, Wilson Hardness, EUA). Os dados foram analisados por ANOVA de medidas repetidas, seguida do teste post hoc de Yukey ($\alpha = 0,05$). Em acréscimo, os limiares de perceptibilidade ($\Delta E_{00} > 1,0$) e aceitabilidade clínica ($\Delta E_{00} < 3,3$) foram adotados na interpretação dos resultados. A exposição ao ácido gástrico simulado não promoveu alterações significativas na rugosidade superficial (p=0,15), microdureza (p=0,33) ou na cor da resina (p=0,59) ao longo do tempo. Após o desafio ácido, a imersão em soluções corantes resultou em alterações de cor significativa e dependentes do tipo de solução. O café apresentou maior influência em todos os períodos avaliados, sendo as variações frequentemente acima do limiar de aceitabilidade clínica. Em contraste, a água destilada e o vinho tinto produziram alterações cromáticas discretas, em geral dentro de limites clinicamente aceitáveis. Esses resultados indicam que, embora o material apresente estabilidade físico-mecânica frente à exposição ácida, sua estabilidade de cor pode ser comprometida pela ingestão de bebidas com alto potencial corante, especialmente o café.

Palavras-chave: Resina de Impressão 3D; Ácido Gástrico; Estabilidade de Cor.

ABSTRACT

Gastroesophageal reflux disease and bulimia are important conditions that can compromise the clinical durability of restorative materials due to surface action and the consequent reduction of oral pH. At the same time, the evolution of 3D printing resins has allowed for the expansion of clinical indications and their application in even definitive restorations. However, information regarding the behavior of these materials upon exposure to gastric acid and pH reduction is still limited. Thus, the present study aimed to evaluate the effect of simulated gastric acid on the surface of a 3D printing resin and the possible interaction of this material with staining solutions. The sample size was defined based on a pilot study, totaling 45 specimens, which were manufactured by the producer using the 3D printing resin indicated for crowns and bridges, Varseo Smile (Bego, Germany). After ultrasonic cleaning, the specimens were subjected to artificial aging in a thermocycler (OMC 350 TS, Odeme, Brazil) (5000 cycles, 5 °C to 55 °C). Initial color, surface roughness, and Vickers microhardness were then measured and used as the baseline. Subsequently, the specimens were randomly distributed into two groups: experimental, exposed to simulated gastric acid (HCl, pH 1.2), and control, immersed in artificial saliva (n = 20 per group). Color and surface roughness were evaluated again after 96 and 168 hours, and color, roughness, and microhardness were also measured after 240 hours of immersion at 37 °C. Once the acid challenge was completed, the specimens were then immersed in two staining solutions (black coffee and red wine), with distilled water used as a negative control (n = 5 per solution). The solutions were renewed daily, and color and roughness analyses were performed after 2.5 and 5 days. Similarly, color, roughness, and microhardness were re-evaluated after 7 days. Colorimetric evaluation was performed using the spectrophotometric method, with chromatic differences calculated by the ΔE_{00} formula. Surface roughness was determined by profilometry (DektakXT Stylus, Bruker, USA), and microhardness by a Vickers microhardness tester (VH1102, Wilson Hardness, USA). Data were analyzed by repeated measures ANOVA, followed by Tukey post hoc test ($\alpha = 0.05$). Additionally, thresholds for perceptibility ($\Delta E_{00} > 1.0$) and clinical acceptability ($\Delta E_{00} < 3.3$) were adopted for interpreting the results. Exposure to simulated gastric acid did not promote significant changes in surface roughness (p = 0.15), microhardness (p = 0.33), or the color of the 3D printing resin (p = 0.59) over time. Following the acid challenge, immersion in staining solutions resulted in color changes dependent on the type of solution, with coffee being responsible for the highest ΔE_{00} values across all evaluated periods, frequently above the threshold of clinical acceptability. In contrast, distilled water and red wine produced smaller chromatic changes, generally within clinically acceptable limits. These results indicate that, although the material presents physical-mechanical stability against acid exposure, its color stability may be compromised by the intake of beverages with high staining potential, especially coffee.

Keywords: 3D-printed resin; Simulated gastric acid; Color stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do desenho do estudo	24
Figura 2 – Corpo de prova desenhado no Meshmixer	26
Figura 3 – Resina Varseo Smile Crown Plus.....	26
Figura 4 – Termocicladora OMC 350 TS.....	27
Figura 5 – Espectrofotômetro VITA Easyshade.....	29
Figura 6 – Perfilômetro DektakXT Stylus.....	30
Figura 7 – Microdurômetro VH1102.....	31
Figura 8 – Alteração de cor depois dos desafios ácidos e soluções corantes.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Rugosidade superficial (S_a) após imersão em ácido gástrico simulado e saliva artificial nos diferentes tempos experimentais.....	33
Tabela 2 – Rugosidade superficial (S_a) após imersão em soluções corantes nos diferentes tempos experimentais.....	34
Tabela 3 – Valores médios de microdureza Vickers (HV) dos espécimes nos diferentes grupos experimentais.....	34
Tabela 4 – Valores médios de ΔE_{00} após exposição ao ácido gástrico simulado e saliva artificial.....	35
Tabela 5 – Alteração de cor (ΔE_{00}) após imersão em soluções corantes nos diferentes tempos experimentais.....	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3D	Tridimensional
CAD/CAM	Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing
CaCl_2	Cloreto de cálcio
DRGE	Doença do refluxo gastroesofágico
HCl	Ácido Clorídrico
KCl	Cloreto de potássio
Na_2HPO_4	Fosfato Dissódico
$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Sulfato de sódio monohidratado
NaCl	Cloreto de sódio
pH	Potencial hidrogeniônico
mm	Milímetros
mg	Miligramas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.	18
3	OBJETIVO.....	22
3.1	OBJETIVO GERAL.....	22
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	DESENHO DO ESTUDO.....	23
4.2	TAMANHO AMOSTRAL.....	25
4.3	CONFECÇÃO DOS ESPÉCIMES.....	25
4.4	PROTOCOLO DE ENVELHECIMENTO SIMULADO.....	26
4.5	PROTOCOLO DE SIMULAÇÃO DE EROÇÃO GÁSTRICA.....	27
4.6	PROTOCOLO DE COLORAÇÃO.....	28
4.7	AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA.....	29
4.8	ANÁLISE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL.....	30
4.9	ANÁLISE DA MICRODUREZA.....	31
4.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	32
5	RESULTADO.....	33
6	DISCUSSÃO.....	37
7	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

O progresso da Odontologia Digital na última década é inegável, especialmente com o advento dos sistemas CAD/CAM, que literalmente criaram uma nova modalidade de Odontologia (Tahayeri et al., 2018; Kessler; Hickel; Reymus, 2020). Ambos os métodos subtrativos (fresagem) e aditivos (impressão 3D) oferecem economia de tempo, carga de trabalho reduzida para clínicos e técnicos de laboratório, melhor adaptação ao tecido, retenção satisfatória e maior precisão (Nam et al., 2024).. Nesse contexto, as resinas de impressão se destacam por serem mais econômicas e gerarem menor desperdício de material durante o processo de fabricação quando comparadas ao processo subtrativo (Nam et al., 2024).

Inicialmente, as resinas de impressão 3D eram usadas principalmente para confecção de modelos e restaurações provisórias, devido às suas propriedades mecânicas e biológicas relativamente inferiores em comparação aos blocos de resina fresados (Revilla-León et al., 2019; Nam et al., 2024). No entanto, a evolução constante dos materiais de impressão e a incorporação de partículas de carga resultaram na melhora das propriedades mecânicas, permitindo a aplicação desse material na confecção de coroas e pontes definitivas (Atria et al., 2022; Karasan et al., 2022; Nam et al., 2024). De acordo com uma revisão sistemática recentemente publicada (Jain et al., 2022), esses materiais de impressão especialmente desenvolvidos para coroas podem ser uma alternativa viável aos materiais convencionais e/ou fresados, devido às partículas de carga cerâmica adicionais ao material, que aumentaram de forma significativa a resistência à fratura, módulo de elasticidade, pico de estresse e resistência à flexão e desgaste superficial do material (Jain et al., 2022). De qualquer forma, as resinas de impressão 3D ainda apresentam deficiências em relação à tenacidade, resiliência, microdureza, rugosidade da

superfície, sorção de água, solubilidade e estabilidade de cor (Jain et al., 2022). Uma revisão de escopo (Espinar et al., 2022), destacou ainda que as resinas de impressão 3D apresentam menor estabilidade da cor em comparação aos materiais fresados, tanto após a imersão em soluções corantes da dieta quanto após a termociclagem. Essas alterações cromáticas podem reduzir a longevidade clínica e aceitabilidade das restaurações e, portanto, entender o comportamento cromático em longo prazo desses materiais é crucial para melhorar a previsibilidade das restaurações no meio bucal (Espinar et al., 2022).

A estabilidade da cor dos materiais está intimamente relacionada à rugosidade da superfície, o que também pode ainda comprometer a biocompatibilidade do material (Atria et al., 2022). Uma superfície rugosa não afeta apenas as propriedades ópticas, mas também promove o acúmulo de biofilme, comprometendo o sucesso clínico em longo prazo de restaurações (Ozel et al., 2017). Além disso, substâncias ácidas reduzem o pH do meio bucal, aumentando o risco de erosão superficial dos materiais resinosos (Pimentel et al., 2023). Essas substâncias ácidas podem ser de origem extrínseca, relacionadas à dieta, ou de origem intrínsecas, como o refluxo gastroesofágico e os casos de vômitos frequentes decorrentes da bulimia, os quais reduzem o pH do meio bucal pela ação do suco gástrico (Wan Bakar; McIntyre, 2008; Elraggall; Afifi; Abdelraheem, 2022; Willers et al., 2022; Tinastepe; Malkondu; Kazazoglu, 2023; Alhotan et al., 2024). A exposição ao suco gástrico parece aumentar a rugosidade superficial de materiais resinosos com consequências à estética e a durabilidade das restaurações (Gil-Pozo et al., 2024). No entanto, os efeitos desse pH reduzido nos materiais de impressão 3D não foram amplamente analisados, principalmente em relação aos materiais específicos para coroas e pontes fixas. Assim, o objetivo do presente estudo foi investigar o impacto do ácido clorídrico

(simulador do suco gástrico) nas propriedades mecânicas, resistência superficial e alterações cromáticas de uma resina de impressão 3D indicada para confecção de coroas e pontes fixas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A doença do refluxo gastroesofágico (DRGE) e a bulimia nervosa são condições clínicas caracterizadas pela exposição recorrente da cavidade oral ao conteúdo gástrico, composto principalmente por ácido clorídrico com pH variando entre 1 e 2 (Ranjitkar; Kaidonis; Smales, 2012). Essa exposição frequente está associada à erosão dental, que provoca o desgaste das superfícies dentárias e alterações na estrutura do esmalte, podendo também afetar os materiais restauradores presentes na cavidade oral (Lussi; Carvalho, 2014; Schlueter; Luka, 2018). Estudos demonstram que ambientes ácidos simulando condições de refluxo são capazes de reduzir a dureza superficial e comprometer a estabilidade de cor de resinas compostas, evidenciando o impacto dessas patologias na longevidade de restaurações estéticas (Alencar et al., 2016; Alharbi et al., 2021).

Além dos efeitos diretos sobre os tecidos dentários, a exposição ao ácido gástrico pode alterar o pH salivar e modificar a dinâmica de remineralização, criando um ambiente favorável à degradação química de materiais odontológicos (Catelan et al., 2010). Dessa forma, pacientes com distúrbios gastrointestinais representam um grupo de risco para falhas restauradoras precoces (Zero; Lussi, 2005). Em acréscimo, materiais restauradores à base de resina são suscetíveis à degradação química quando expostos a soluções ácidas, principalmente devido à hidrólise da matriz orgânica (Pimentel et al., 2023). Esse processo pode resultar em redução da microdureza, aumento da solubilidade e alterações na estabilidade cromática dos materiais (Sideridou; Karabela; Vouvoudi, 2011). A literatura demonstra ainda que a exposição prolongada aos meios ácidos pode comprometer significativamente o desempenho físico e estético das restaurações indiretas e diretas, embora a

magnitude dessas alterações varie conforme a composição do material e as condições experimentais (Acar et al., 2016; Alharbi et al., 2021).

Em contrapartida, o avanço da Odontologia Digital e das tecnologias de manufatura aditiva possibilitaram o desenvolvimento de resinas fotopolimerizáveis específicas para impressão tridimensional, ampliando as opções para a confecção de restaurações provisórias e definitivas (Revilla-León; Özcan, 2019). Esses materiais são processados por polimerização em camada, o que pode resultar em microestruturas distintas daquelas observadas em resinas compostas convencionais ou em materiais fresados por sistemas CAD/CAM (Alharbi; Wismeijer; Osman, 2016).

Embora as resinas impressas em 3D apresentem vantagens relacionadas à padronização, rapidez de fabricação e redução de etapas laboratoriais, sua estabilidade físico-química em longo prazo ainda está sendo investigada (Stansbury; Idacavage, 2016). A presença de interfaces entre as camadas e de possíveis porosidades inerentes ao processo de impressão, podem influenciar a absorção de líquidos e a incorporação de pigmentos, afetando as propriedades ópticas e mecânicas dos materiais (Shim et al., 2020). Nesse contexto, a estabilidade de cor destaca-se como um dos principais fatores para o sucesso clínico de restaurações estéticas e podem ser decorrentes de mecanismos intrínsecos, relacionados à degradação da matriz resinosa, ou extrínsecos, associados à adsorção e absorção de pigmentos provenientes da dieta (Joiner, 2004). Estudos prévios demonstram alterações de cor clinicamente perceptíveis em materiais restauradores após a exposição prolongada às soluções pigmentadas, sendo o café uma das substâncias com maior potencial de manchamento (Acar et al., 2016; Alencar et al., 2016). Uma das principais razões do manchamento pelo café está relacionada aos cromógenos de baixo peso molecular e compostos fenólicos capazes de penetrar na matriz

resinosa e promover alterações cromáticas progressivas (Joiner, 2004), promovendo alterações cromáticas até mais significativas que outras bebidas, mesmo em materiais com diferentes composições químicas (Acar et al., 2016; Alharbi et al., 2021). Revisões sistemáticas reforçam que a susceptibilidade ao manchamento varia conforme a composição do material, o grau de conversão polimérica e a presença de cargas inorgânicas, mas que o café permanece consistentemente como uma das substâncias com maior capacidade de alterar a cor de resinas restauradoras (Joiner, 2004).

A rugosidade superficial também pode influenciar no manchamento e tem sido tradicionalmente associada à retenção de biofilme e de pigmentos, uma vez que superfícies mais irregulares apresentam maior área de contato e favorecem a adsorção de partículas (Bollen; Lambrechts; Quirynen, 1997). No entanto, estudos demonstram que a alteração de cor de materiais restauradores pode ocorrer mesmo na ausência de modificações significativas na rugosidade superficial, sugerindo que a absorção de corantes pela matriz resinosa desempenha papel importante no processo de descoloração (Sideridou; Karabela; Vouvoudi, 2011). Em acréscimo, a microdureza Vickers, indicador indireto da resistência mecânica e do grau de conversão de materiais restauradores (Ferracane, 2006), pode auxiliar a compreender a influência da exposição do material a ambientes ácidos, que podem atacar a matriz orgânica e reduz consequentemente os valores de microdureza, comprometendo a resistência ao desgaste e a durabilidade clínica das restaurações (Acar et al., 2016). Entretanto, alguns estudos demonstram que materiais com maior grau de conversão e maior conteúdo de carga inorgânica apresentam maior resistência à degradação química, mantendo valores de microdureza relativamente estáveis mesmo após exposição a soluções ácidas (Alharbi et al., 2021). De qualquer forma, faltam informações sobre o

comportamento das resinas impressas em 3D para coroas, pontes e dispositivos provisórios, principalmente relacionados ao seu comportamento em ambientes orais adversos (Revilla-León; Özcan, 2019). A estrutura em camadas e possíveis porosidades inerentes ao processo de impressão podem aumentar a absorção de água e de pigmentos, tornando esses materiais potencialmente mais suscetíveis à alteração de cor quando comparados a materiais convencionais (Alharbi et al., 2016). Além disso, fatores como pós-cura, orientação de impressão e espessura de camada podem influenciar a densidade de reticulação polimérica e, conseqüentemente, as propriedades mecânicas e ópticas das resinas impressas (Dawood et al., 2015).

Embora a literatura demonstre que soluções ácidas e bebidas pigmentadas são capazes de alterar as propriedades físicas e ópticas de materiais restauradores, a maioria dos estudos avalia esses fatores de forma isolada. Ainda são limitadas as pesquisas que investigam o efeito combinado da exposição prévia ao ácido gástrico e posterior contato com soluções corantes, especialmente em resinas produzidas por impressão 3D indicadas para restaurações indiretas (Alharbi et al., 2021), o que justifica a realização do presente estudo.

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar, in vitro, a influência da exposição às soluções simuladoras da erosão gástrica (ácido clorídrico) e agentes corantes da dieta (café e vinho tinto) na estabilidade de cor, rugosidade superficial e microdureza de uma resina de impressão 3D para uso em coroas e pontes fixas.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

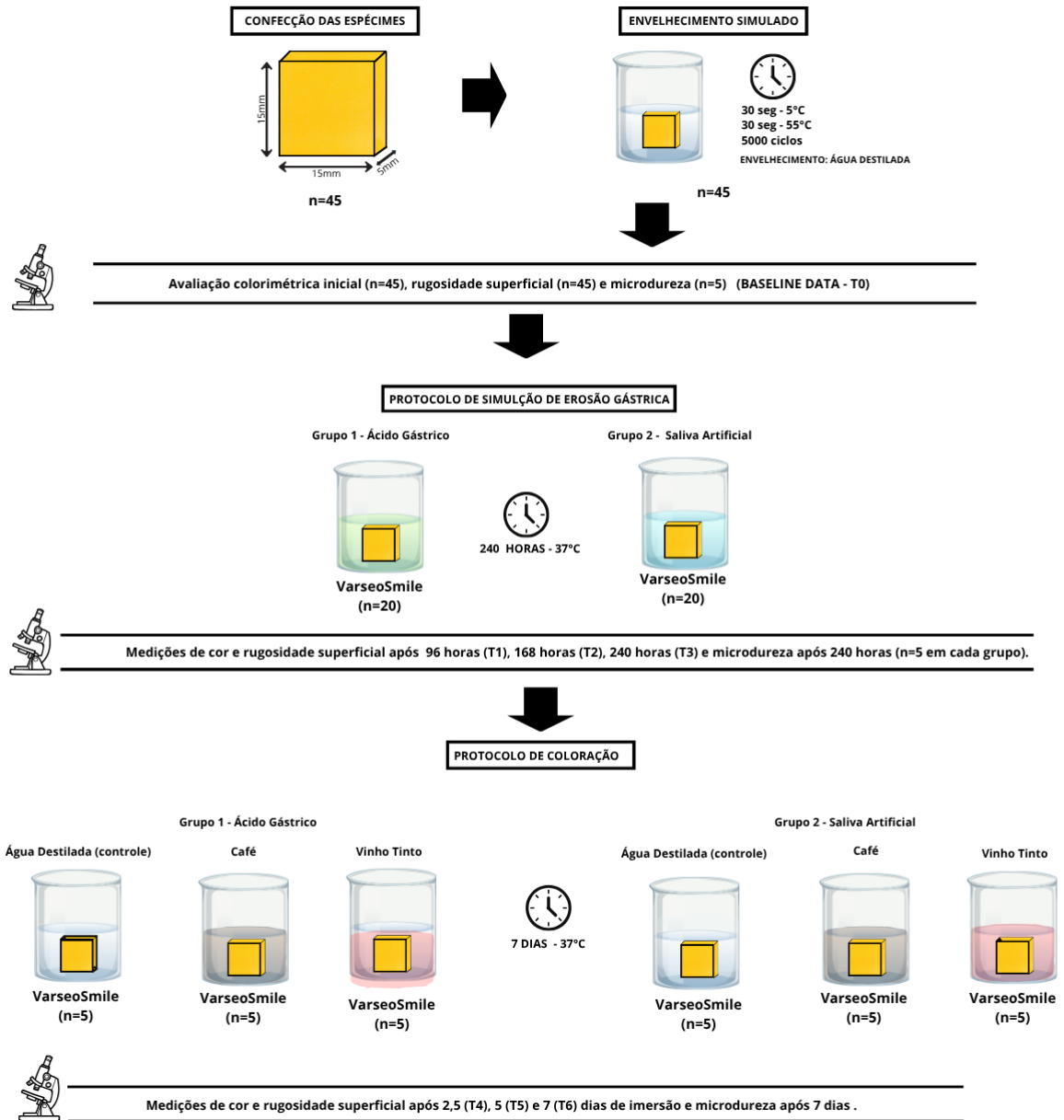
- Analisar as possíveis variações na rugosidade superficial da resina de impressão 3D após simulação de envelhecimento artificial, erosão gástrica e exposição às soluções corantes (café e vinho tinto).
- Avaliar a microdureza da resina de impressão 3D antes e após os protocolos de simulação de erosão gástrica e exposição às soluções corantes (café e vinho tinto).
- Verificar as alterações cromáticas da resina de impressão 3D após simulação de envelhecimento artificial, erosão gástrica e exposição às soluções corantes (café e vinho tinto).
- Comparar os resultados obtidos entre os grupos controle e experimental, determinando a significância estatística e a relevância clínica das alterações observadas.

4 METODOLOGIA

4.1 DESENHO DO ESTUDO

Este estudo caracterizou-se como um ensaio laboratorial *in vitro*, no qual as variáveis independentes foram a erosão ácida da superfície (com e sem aplicação de HCl) e a posterior exposição às soluções corantes (café e vinho). As variáveis dependentes analisadas foram a estabilidade de cor, a rugosidade superficial e a microdureza. As variáveis de estabilidade de cor e rugosidade foram mensuradas antes da imersão na solução de HCl e após 96, 168 e 240 horas (Tinastepe et al., 2023). Em seguida, essas mensurações foram repetidas após 2,5, 5 e 7 dias de imersão nas soluções corantes. Já a microdureza foi mensurada antes da imersão, após 240 horas de imersão em HCl e após 7 dias de imersão nas soluções corantes. O fluxograma do estudo foi detalhado na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma do desenho do estudo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

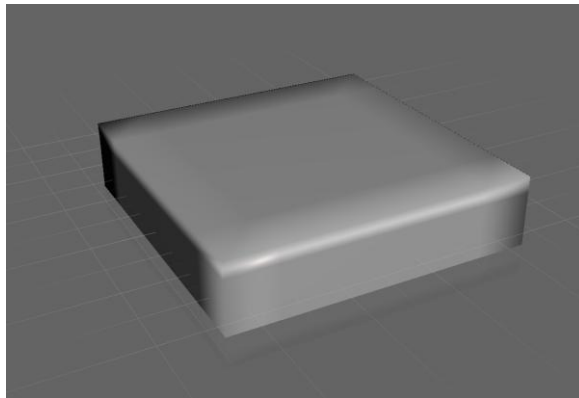
4.2 TAMANHO AMOSTRAL

O software G*Power (versão 3.1.9.7) foi utilizado para estimar o tamanho amostral, com base nos resultados de Tinastepe et al. (2023). Nesse estudo, foi avaliada a influência do HCl sobre a rugosidade superficial e a microdureza de uma resina fresada e, considerando os resultados obtidos antes e após o desafio ácido de 96 horas, observou-se uma diferença média de 0,02 para rugosidade entre os grupos. Em um teste bicaudal, com nível de significância de 5%, poder estatístico de 80% e tamanhos de efeito de 4,37 para rugosidade e 2,69 para microdureza, estimou-se a necessidade de uma amostra total de 30 espécimes ($n = 5$ por solução de imersão), de modo a detectar diferenças significativas na alteração de cor e nos parâmetros de rugosidade superficial entre os grupos.

4.3 CONFECÇÃO DOS ESPÉCIMES

Todos os espécimes foram desenhados em software de computação gráfica 3D (Meshmixer, versão 3.5), e o arquivo em linguagem de tesselação padrão (STL) foi utilizado para transferir o desenho à impressora (Photon Ultra, Anycubic, China). Cada espécime foi confeccionado com as dimensões de 15 mm de largura $\times$ 15 mm de comprimento $\times$ 5 mm de espessura ($\pm 0,05$ mm) (Fig. 2) e, após a finalização do desenho, os espécimes foram impressos em resina para impressão 3D (VarseoSmile Crown plus, Bego, Alemanha) (Fig. 3), de acordo com as instruções do fabricante, sendo o processo executado pelo distribuidor credenciado, o que assegurou padronização e confiabilidade do método de impressão. O pós-processamento também foi realizado pelo mesmo distribuidor seguindo as recomendações do fabricante.

Figura 2 – Corpo de prova desenhado no Meshmixer.



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 3 – Resina Varseo Smile Crown Plus.



Fonte: Surya Dental (2026)

4.4 PROTOCOLO DE ENVELHECIMENTO SIMULADO

O envelhecimento artificial foi realizado em termocicladora (OMC 350 TS, Odeme, Brasil), simulando 5.000 ciclos em banhos alternados de 30 segundos nas

temperaturas de 5 °C e 55 °C. Após a finalização desse processo, todas as variáveis foram mensuradas, estabelecendo-se o momento inicial (baseline – T0) (Fig. 1).

Figura 4 – Termocicladora OMC 350 TS



Fonte: Odeme (2026)

4.5 PROTOCOLO DE SIMULAÇÃO DA EROÇÃO GÁSTRICA

Os espécimes foram alocados aleatoriamente em dois grupos, de acordo com a solução de imersão: ácido gástrico (experimental) e saliva artificial (controle) (n = 20 em cada grupo). O método descrito por Hunt e McIntyre foi utilizado para formular o suco gástrico, por meio de uma solução de HCl (0,06 M; solução a 0,113% em água deionizada), com pH final de 1,2 (Hunt e McIntyre., 2008). A solução de saliva artificial foi sintetizada em farmácia de manipulação (Dermus Pharma, Santa Catarina, Brasil), por meio da incorporação de 0,4 g/L de NaCl, 0,4 g/L de KCl, 0,795 g/L de CaCl₂,

0,690 g/L de Na_2HPO_4 e 0,005 g/L de $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ em 1 L de água destilada, obtendo-se pH final de 6,5 (Tinastepe et al., 2023).

Cada espécime foi imerso separadamente em um tubo plástico contendo 5 mL da respectiva solução e armazenado em estufa a 37 °C por diferentes tempos. Após o tempo de imersão determinado, os espécimes foram enxaguados em água corrente por 1 minuto e secos com jatos de ar por 10 segundos antes das análises. Em seguida as variáveis de cor e rugosidade superficial foram mensuradas após 96 horas (T1) 168 horas (T2). Em acréscimo, as avaliações de cor, rugosidade superficial e microdureza foram realizadas após 240 horas (T3).

4.6 PROTOCOLO DE COLORAÇÃO

Finalizada a etapa de desafio ácido, todos os espécimes foram redistribuídos aleatoriamente em três subgrupos para posterior imersão em soluções corantes (café e vinho tinto), além de água destilada utilizada como controle (n = 5 cada). Os espécimes foram mantidos em contato permanente com as soluções e incubados em estufa a 37 °C durante um período de 7 dias.

A solução de café foi preparada com 60 g de café (3 Corações Tradicional, Três®, Guarulhos, Brasil), filtrada com filtro de papel (Melitta®, Santo Amaro, Brasil) e 600 mL de água mineral fervente (100 °C), apresentando pH de 6,1 e após o resfriamento foi imerso os corpos de prova. O vinho tinto (Chalise Vinho Tinto de Mesa Seco, Salton, Bento Gonçalves, Brasil) foi utilizado em temperatura ambiente, com pH de 4,6. Os líquidos foram renovados diariamente para evitar o crescimento microbiano e mantidos em frascos com tampas para inibir a evaporação das soluções. Antes das análises, cada espécime foi removido da solução, enxaguado por 30 segundos em água corrente para remoção de sedimentos superficiais e seco com jatos de ar por 10

segundos. Cada espécime foi cuidadosamente manuseado para evitar danos à superfície, sendo as variáveis mensuradas após 2, 5 (T4), 5 (T5) e 7 dias (T6) de imersão.

4.7 AVALIAÇÃO COLORIMÉTRICA

A avaliação colorimétrica foi realizada por espectrofotometria, utilizando o espectrofotômetro manual (VITA Easyshade, VITA, Alemanha) (Fig. 5).

Para a avaliação, espectrofotômetro manual (VITA Easyshade, VITA, Alemanha) foi calibrado de acordo com as recomendações do fabricante, e as leituras foram realizadas com o auxílio de um dispositivo de encaixe confeccionado em silicone de laboratório na cor cinza (Zetalabor, Zhermack, Itália), mantendo a ponta da sonda rente à superfície dos corpos de prova. Esse procedimento foi realizado para reduzir a interferência da luz ambiente no processo de leitura da cor. Foram realizadas três medições em cada espécime e a média usada, e as coordenadas de cor (L^* , a^* e b^*) foram tabuladas em planilha do Microsoft Excel.

Figura 5 – Espectrofotômetro VITA Easyshade



Fonte: VITA (2026)

A alteração cromática foi analisada com auxílio da fórmula CIEDE2000 (ΔE_{00}), que segue a seguinte equação:

$$\Delta E_{00} = \sqrt{\left(\frac{\Delta L'}{k_L S_L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)^2 + R_T \cdot \left(\frac{\Delta C'}{k_C S_C}\right) \cdot \left(\frac{\Delta H'}{k_H S_H}\right)}$$

As diferenças nas coordenadas de cor (ΔL^* , Δa^* e Δb^*), foram então calculadas e os limiares de perceptibilidade ($\Delta E_{00} = 1$) e de aceitabilidade ($\Delta E_{00} = 3,3$) foram utilizados para análise da significância clínica dos resultados (Paravina et al., 2015).

4.8 ANÁLISE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

A rugosidade superficial foi analisada utilizando um perfilômetro digital (DektakXT Stylus, Bruker, EUA) (Fig. 6). Foram realizadas três medições, em tres pontos distintos em cada espécime por período, com uma força de ponta aplicada de 3 mg em um comprimento de 2 mm com a duração de 10 segundos. Essas análises foram realizadas imediatamente após o envelhecimento artificial de 5.000 ciclos na termocicladora e após o desafio ácido nos períodos de 96, 168 e 240 horas. As mensurações foram repetidas após a imersão nas soluções corantes nos tempos de 2,5, 5 e 7 dias. Os resultados foram tabulados em planilha do Microsoft Excel e usado a média.

Figura 6 – Perfilômetro DektakXT Stylus.



Fonte: Arizona State University (2026)

4.9 ANÁLISE DA MICRODUREZA

Para o ensaio de microdureza, as amostras foram submetidas ao teste Vickers em microdurômetro digital (VH1102, Wilson Hardness, EUA), utilizando-se carga de 200 g aplicada por 15 segundos. Foram realizadas três endentações na região central da superfície de cada corpo de prova, com espaçamento de 2.500 μm entre elas.

Figura 7 – Microdurômetro VH1102



Fonte: Buehler (2026)

Os valores correspondentes a cada indentação produzida pelo penetrador de diamante foram registrados em planilha do Microsoft Excel, sendo posteriormente calculada a média final para cada amostra. Essa análise foi realizada imediatamente após o envelhecimento artificial de 5.000 ciclos no termociclador e após o desafio ácido de 240 horas, sendo repetida após a imersão nas soluções corantes por 7 dias. Devido a alteração da superfície que ocorre na análise de microdureza, os espécimes utilizados eram removidos das amostras.

4.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise exploratória utilizando o software SPSS Statistics (versão 23, IBM Corp., Armonk, Nova York, EUA). A normalidade da distribuição e a homogeneidade das variâncias foram verificadas por meio do teste de Shapiro–Wilk. Os resultados foram então submetidos à análise de variância (ANOVA) de medidas repetidas, seguida do teste post hoc de Tukey HSD. Adicionalmente, as comparações entre os grupos, controle e experimental, foram realizadas por meio de ANOVA unidirecional, também seguida do teste post hoc de Tukey HSD. Para todos os testes estatísticos, foi adotado nível de significância de 5%.

4. RESULTADOS

Os valores médios de rugosidade superficial dos espécimes após imersão em suco gástrico simulado e saliva artificial ao longo do tempo estão apresentados na Tabela 1. Não foram observadas diferenças significativas entre os grupos experimental e controle ($p = 0,15$), nem entre os diferentes períodos de imersão avaliados ($p = 0,163$).

Tabela 1 – Rugosidade superficial após imersão em ácido gástrico simulado e saliva artificial nos diferentes tempos experimentais.

	Tempo de Imersão			
	Baseline	96h	168h	240h
Ácido Gástrico	$0,36 \pm 0,16$	$0,36 \pm 0,13$	$0,27 \pm 0,11$	$0,28 \pm 0,16$
Saliva Artificial	$0,36 \pm 0,19$	$0,31 \pm 0,14$	$0,33 \pm 0,13$	$0,34 \pm 0,21$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após o desafio ácido, os espécimes foram redistribuídos e imersos em água destilada, café e vinho tinto e os valores de rugosidade superficial estão apresentados na Tabela 2. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, tempos ou soluções corantes avaliadas ($p = 0,846$).

Tabela 2 – Rugosidade superficial após imersão em soluções corantes nos diferentes tempos experimentais.

Tempo de Imersão				
		2,5d	5d	7d
Suco Gástrico	Água destilada	0,30 ± 0,15	0,32 ± 0,22	0,28 ± 0,12
	Café	0,37 ± 0,21	0,29 ± 0,04	0,3 ± 0,08
	Vinho	0,42 ± 0,26	0,40 ± 0,23	0,22 ± 0,13
Saliva	Água destilada	0,29 ± 0,16	0,26 ± 0,12	0,21 ± 0,06
	Café	0,33 ± 0,16	0,41 ± 0,21	0,28 ± 0,12
	Vinho	0,30 ± 0,1	0,37 ± 0,13	0,27 ± 0,14

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores médios de microdureza Vickers estão apresentados na Tabela 3 e pode-se observar que não houve diferença significativa entre os espécimes expostos ao ácido gástrico e à saliva artificial ($p = 0,329$), ou mesmo entre as soluções corantes ($p = 0,54$), sendo a interação entre os fatores também não significativa ($p = 0,371$).

Tabela 3 – Valores médios de microdureza Vickers dos espécimes nos diferentes grupos experimentais.

	Baseline	240 h	7d		
			Água destilada	Café	Vinho
Ácido Gástrico	30,02 ± 1,51	28,4 ± 1,26	29,35 ± 0,89	29,85 ± 1,67	28,92 ± 1,46
Saliva Artificial		28,29 ± 1,27	28,98 ± 1,08	28,61 ± 1,18	28,78 ± 0,76

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, a análise das alterações cromáticas (ΔE_{00}) dos grupos experimental e controle estão apresentados na Tabela 4, sendo que também não foram observadas diferenças significativas entre os grupos ao longo do tempo ($p = 0,596$).

Tabela 4 – Valores médios de ΔE_{00} após exposição ao ácido gástrico simulado e saliva artificial.

	Tempo de Imersão		
	96h	168h	240h
Ácido Gástrico	1,37	1,72	1,30
Saliva Artificial	0,53	0,68	0,58

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na avaliação das alterações cromáticas após imersão em soluções corantes apresentados na Tabela 5, diferenças significativas foram observadas entre as soluções dentro de um mesmo tempo experimental, sendo o café responsável pelos maiores valores de ΔE_{00} em todos os períodos avaliados. Nos espécimes do grupo experimental, previamente expostos ao ácido gástrico, os valores de ΔE_{00} para o café permaneceram acima do limiar de aceitabilidade clínica ($\Delta E_{00} > 3,3$), enquanto que os espécimes expostos à água destilada e ao vinho tinto apresentaram alterações mais sutis que, em sua maioria não ultrapassaram os limites de aceitabilidade clínica (Tabela 6). Em acréscimo, não foram observadas diferenças significativas entre os tempos de imersão ($p > 0,05$), indicando que a maior parte da alteração cromática ocorreu nos primeiros dias de exposição.

Tabela 5 – Alteração de cor (ΔE_{00}) após imersão em soluções corantes nos diferentes tempos experimentais.

		Tempo de imersão		
		2,5d	5d	7d
Ácido	Água destilada	2,28 (0,77) Aa	1,70 (0,14) Aa	2,02 (0,56) Aa
	Café	5,31 (0,59) Ba	5,27 (0,67) Ba	5,62 (0,61) Ba
Gástrico	Vinho	2,84 (1,1) Aa	1,74 (0,13) Aa	1,41 (0,32)Aa
Saliva	Água destilada	1,44 (0,47) Aa	0,79 (0,25) Ab	0,76 (0,27) Ab
Artificial	Café	3,74 (0,74) Bb	3,83 (0,52) Bb	4,79 (1,42) Ba
	Vinho	1,58 (0,8) Aa	1,48 (0,27) Aa	1,07 (0,42) Aa

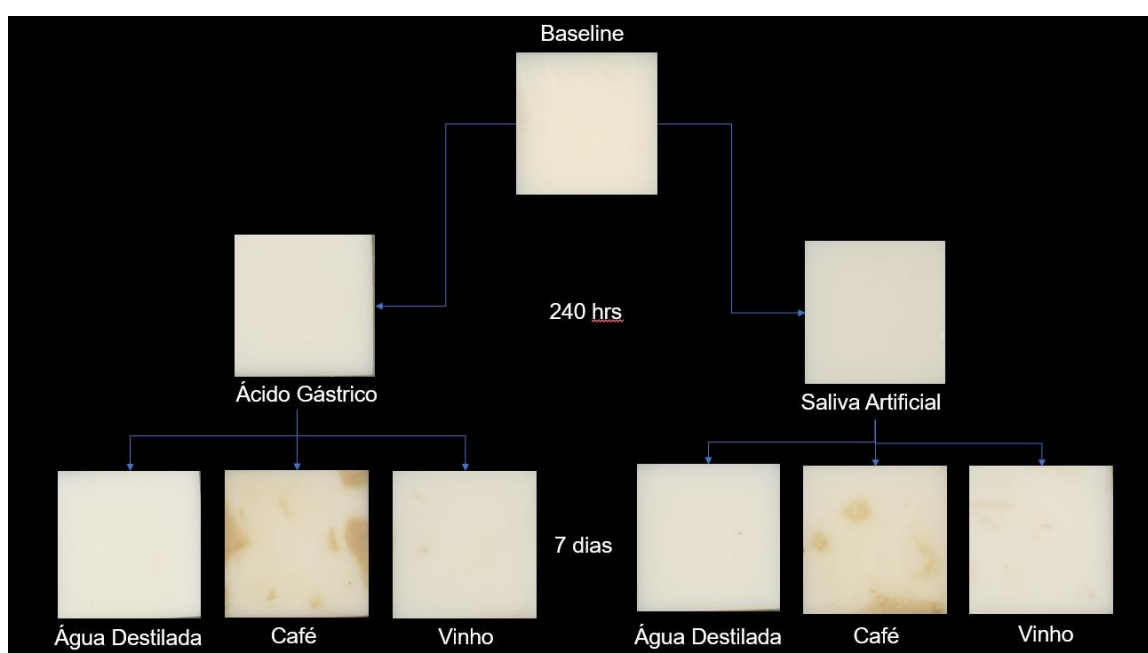
Fonte: Elaborado pelo autor.

Letras maiúsculas diferentes representam diferenças significativas entre as soluções dentro do mesmo tempo e grupo ácido ou saliva.

Letras minúsculas diferentes representam diferenças significativas entre os grupos ácido/saliva, dentro do mesmo tempo e mesma solução.

Não há diferenças significativas em relação aos tempos de imersão ($P>0,05$)

Figura 8 – Alteração de cor depois dos desafios ácidos e soluções corantes.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5. DISCUSSÃO

O presente estudo investigou os efeitos da exposição ao ácido gástrico simulado e da subsequente imersão em soluções corantes nas propriedades ópticas e de resistência superficial de uma resina de impressão 3D reforçada por partículas de cerâmica. De modo geral, os resultados demonstraram que o material apresentou estabilidade mecânica e topográfica após o desafio ácido, porém, alterações cromáticas importantes foram detectadas, especialmente após a exposição ao café.

A ausência de alterações significativas na rugosidade superficial após a exposição ao HCl sugere que a resina de impressão 3D testada apresenta resistência à degradação química, mesmo em desafios ácidos extremos. Esse comportamento pode ser decorrente da elevada fração de carga cerâmica presente na composição do material, a qual além de atuar como reforço estrutural, previne a dissolução da matriz orgânica, e aumenta a dureza superficial (Ferracane, 2006). Estudos anteriores parecem suportar essa teoria ao comprovar que materiais híbridos, contendo fase cerâmica, apresentam maior estabilidade frente aos desafios erosivos quando comparados a resinas compostas convencionais, devido à maior resistência química das partículas inorgânicas presentes no material (Willers et al., 2022; Sideridou; Karabela; Vouvoudi, 2011). Assim, apesar do ácido gástrico possuir pH extremamente baixo, simulando condições clínicas encontradas em pacientes com doença do refluxo gastroesofágico e bulimia, a exposição por até 240 horas não foi suficiente para promover alterações significativas na topografia superficial ($p = 0,163$).

Estudos prévios também revelaram que a degradação ácida de materiais restauradores depende não apenas do pH, mas também do tempo de exposição, da composição química e do grau de conversão do polímero, o que determina a resistência do material à hidrólise e à lixiviação da matriz orgânica (Elraggal et al.,

2022; Alharbi; Wismeijer; Osman, 2016, Ferracane, 2006). Neste contexto, Alhotan et al. (2024), ao avaliarem o efeito do ácido gástrico em vitroceramicas, observaram que após 96 e 192 horas, tempos que simulam aproximadamente 10 e 20 anos de exposição clínica, houve aumento da rugosidade superficial, embora sem alteração na microdureza do material. Esses achados sugerem que o período de imersão nessa ordem de grandeza é suficiente para evidenciar efeitos do ácido gástrico na superfície do material. Dessa forma, o fato de não terem sido observadas alterações significativas na rugosidade entre os grupos experimental e controle ($p=0,15$) no presente estudo, mesmo após 240 horas de exposição, podem estar relacionados principalmente às características intrínsecas do material avaliado. A impressão e a pós cura seguindo as recomendações do fabricante podem ter contribuído para aumentar o grau de conversão polimérica do material polimerizado, e consequentemente, melhorar as propriedades mecânicas e a estabilidade química dos espécimes (Tanaka, 2023). Além disso, a baixa solubilidade do material pode ter limitado a ocorrência de degradação superficial. Embora o aumento do tempo de exposição possa intensificar os efeitos, a ausência de alteração até 240 horas sugere que o material apresenta elevada resistência ao desafio ácido, sendo necessário avaliar, em estudos futuros, se exposições ainda mais prolongadas poderiam revelar alterações clinicamente relevantes.

Outra variável importante analisada foi a microdureza, propriedade que reflete o comportamento mecânico do material (Ferracane, 2006). Nesse sentido, o desafio ácido aplicado também não foi capaz de produzir alterações significativas nessa variável ($p=0,329$), nem houve diferença entre as soluções corantes ($p=0,54$) ou na interação entre os fatores ($p=0,371$), indicando que a estrutura interna do material não foi alterada de forma relevante. A manutenção da dureza superficial pode ser

decorrente da ausência de lixiviação da matriz resinosa com baixa exposição das partículas de carga, fenômenos estes frequentemente associados à perda de propriedades mecânicas em materiais poliméricos submetidos a ambientes agressivos (Gil-Pozo et al., 2024). Esses resultados reforçam a hipótese de que a presença de partículas cerâmicas contribuiu para a maior estabilidade mecânica, mesmo após a exposição prolongada ao meio ácido. Do ponto de vista clínico, tais achados indicam que essa resina de impressão 3D reforçada poderia ser indicada em pacientes com condições extremas que envolvam a exposição frequente ao ácido gástrico, como o refluxo gastroesofágico e a bulimia nervosa.

Em relação às variações colorimétricas, não foram encontradas diferenças significativas nos valores de ΔE_{00} quando comparados os grupos experimental e controle ($p=0,596$). Esses achados são contrários aos encontrados em estudos anteriores, as quais revelam que a exposição ácida pode aumentar a sorção de água e promover microalterações na matriz resinosa, facilitando assim, a difusão de pigmentos e a alteração no comportamento óptico de materiais resinosos (Alencar et al., 2016). De qualquer forma, a ausência de diferença significativa entre os grupos pode ser decorrente da própria composição do material reforçado, além do maior grau de conversão dos monômeros e da menor presença de monômeros residuais susceptíveis a degradação (Ferracane, 2006). Em acréscimo, a baixa solubilidade e sorção de água dessa resina reforçada parece reduzir a penetração de líquidos e a degradação hidrolítica (Ferracane, 2006). Esse fenômeno é particularmente relevante no ambiente clínico, uma vez que pacientes com refluxo gastroesofágico apresentam episódios frequentes de erosão ácida, frequentemente associados ao estilo de vida e consumo de bebidas ácidas, que podem potencializar as alterações superficiais dos materiais (Lussi et al., 2008). De qualquer forma, entre as soluções avaliadas, o café

foi o agente com maior potencial de manchamento em ambos os grupos, produzindo valores de ΔE_{00} superiores ao limiar de aceitabilidade clínica em todos os períodos avaliados. No grupo experimental, os valores para o café variaram entre 5,27 e 5,62, enquanto no grupo controle variaram entre 3,74 e 4,79. Esse comportamento está de acordo com estudos prévios que identificam o café como um dos principais agentes extrínsecos de pigmentação de materiais restauradores, devido à presença de cromóforos de baixo peso molecular capazes de penetrar na matriz orgânica e se adsorver às partículas de carga (Stamenkovic et al., 2021; Alharbi et al., 2021).

O vinho tinto, por sua vez, apresentou potencial pigmentante inferior ao do café, apesar de seu pH ser mais ácido. Os valores de ΔE_{00} para o vinho no grupo experimental (1,41 a 2,84) e no grupo controle (1,07 a 1,58) mantiveram-se dentro dos limites de aceitabilidade. Da mesma forma como observado nas variáveis anteriores, essa resina reforçada parece ser resistente ao pH baixo e sua composição química e a polaridade dos corantes presentes nas bebidas parecem ser mais influentes na alteração de cor do que o próprio pH. Essa teoria foi proposta anteriormente por estudos que demonstram que a interação entre a matriz resinosa e os compostos orgânicos pigmentados parece ser o principal mecanismo de descoloração de materiais restauradores (Sideridou; Karabela; Vouvoudi, 2011). Em acréscimo, a ausência de diferenças colorimétricas significativas entre os tempos de imersão ($p > 0,05$) indica que a maior parte das alterações cromáticas ocorreram nas fases iniciais de exposição, com posterior estabilização dos valores de ΔE_{00} . Esse comportamento foi anteriormente descrito na literatura e parece estar associado à saturação dos sítios de adsorção de pigmentos na superfície e na subsuperfície dos materiais resinosos (Stamenkovic et al., 2021).

Embora os resultados forneçam evidências importantes sobre o comportamento da resina 3D reforçada, este estudo apresenta limitações inerentes ao seu delineamento laboratorial *in vitro*. O ambiente experimental não replica fielmente a complexidade do meio bucal, que envolve a presença de biofilme dental, variações constantes de temperatura e a ação tamponante da saliva humana, fatores que, em conjunto, podem acelerar a degradação química e física do material. Além disso, embora o tamanho da amostra tenha sido determinado por meio de cálculo amostral prévio para garantir o poder estatístico dos testes, a amostra final ainda é considerada reduzida para representar a variabilidade total de uma aplicação clínica em larga escala. Adicionalmente, o estudo limitou-se à avaliação de apenas uma marca comercial de resina de impressão 3D, o que impede a generalização dos achados para outros polímeros com diferentes concentrações de carga cerâmica ou protocolos de pós-cura. Outro ponto relevante é o formato dos espécimes, que foram confeccionados em blocos retangulares (15 mm × 15 mm × 5 mm) com superfícies polidas. Clinicamente, as restaurações possuem uma anatomia complexa, como o formato de coroas, com sulcos, fissuras e áreas de ameias que favorecem o acúmulo de pigmentos e dificultam a higienização, o que pode resultar em um manchamento mais severo do que o observado em superfícies laboratoriais planas e padronizadas. O estudo também focou no desafio químico isolado; no entanto, no meio intraoral, o material está sujeito a desafios mecânicos constantes, como a escovação e o desgaste mastigatório, que podem alterar a rugosidade superficial e, consequentemente, a estabilidade de cor ao longo do tempo. Por fim, embora o tempo de imersão tenha sido significativo, estudos clínicos longitudinais são necessários para validar se a resistência observada ao ácido gástrico e às soluções corantes se mantém sob as condições dinâmicas e multifatoriais da cavidade oral.

6. CONCLUSÃO

Dentro das limitações deste estudo in vitro, pode-se concluir que:

- A exposição ao ácido gástrico simulado não promoveu alterações significativas na rugosidade superficial ou na microdureza da resina de impressão 3D reforçada por carga cerâmica.
- A estabilidade de cor do material não foi significativamente afetada pelo desafio ácido isoladamente.
- A imersão em soluções corantes promoveu alterações cromáticas significativas, sendo o café o agente com maior potencial de manchamento e com valores de ΔE_{00} superiores ao limiar de aceitabilidade clínica.
- A rugosidade superficial e a microdureza permaneceram estáveis mesmo após a exposição combinada ao meio ácido e às soluções corantes.
- A resina impressa 3D testada parece ser mecanicamente estável e resistente às condições simuladas de erosão ácida, porém, alterações cromáticas significativas foram observadas, o que pode influenciar a aparência estética em longo prazo.

REFERÊNCIAS

- ACAR, O. et al. **Color stability of CAD/CAM ceramics prepared with different surface treatments.** Journal of Prosthetic Dentistry, v. 116, n. 3, p. 371–376, 2016.
- ALENCAR, C. M. et al. **Effect of acidic challenge on the surface hardness and roughness of composite resins.** Operative Dentistry, v. 41, n. 6, p. 608–616, 2016.
- ALHARBI, N. et al. **Influence of beverage staining on the color stability of CAD/CAM and 3D-printed dental materials.** Journal of Prosthetic Dentistry, v. 125, p. 818–826, 2021.
- ALHARBI, N.; OSMAN, R.; WISMEIJER, D. **Effects of build direction on the mechanical properties of 3D-printed complete coverage interim dental restorations.** The Journal of Prosthetic Dentistry, v. 115, n. 6, p. 760–767, 2016.
- ALHOTAN, A. et al. **Effect of simulated gastric acid exposure on the hardness, topographic, and colorimetric properties of machinable and pressable zirconia-reinforced lithium silicate glass-ceramics.** Journal of Prosthetic Dentistry, v. 132, p. 625.e1-625.e7, 2024.
- ARIZONA STATE UNIVERSITY. **Profilometer – Stylus (Bruker Dektak XT).** Disponível em: <https://cores.research.asu.edu/materials/equipment/profilometer-stylus-bruker-dektak-xt>. Acesso em: 6 abr. 2026.
- ATRIA, P. J. et al. **3D-printed resins for provisional dental restorations: comparison of mechanical and biological properties.** Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, v. 34, p. 804-815, 2022.
- BEGO. **VarseoSmile® Crown plus – resina para impressão 3D de coroas permanentes.** Disponível em: <https://www.suryadental.com.br/resina-para-impressao-3d-varseo-smile-crown-plus-a2-ref-41118-250g-bego.html>. Acesso em: 6 abr. 2026.
- BOLLEN, C. M. L.; LAMBRECHTS, P.; QUIRYNEN, M. **Comparison of surface roughness of oral hard materials to the threshold surface roughness for bacterial plaque retention: a review of the literature.** Dental Materials, v. 13, n. 4, p. 258–269, 1997.
- BUEHLER. **Wilson VH1102 and 1202 Micro Hardness Testers.** Disponível em: <https://www.buehler.com/products/hardness-testing/vickers-knoop-hardness-testers/wilson-vh1102-and-1202-micro-hardness-testers/>. Acesso em: 6 abr. 2026.
- CATELAN, A.; GUEDES, A. P. A.; SANTOS, P. H. **Erosão dental e suas implicações sobre a saúde bucal.** Revista da Faculdade de Odontologia – UPF, v. 15, n. 1, 2010.
- DAWOOD, A. MARTI B, SAUPE J, et al. **3D printing in dentistry.** Br Dent J. 2015;219(11):521–529.

ELRAGGAL, A. et al. **Effect of erosive media on microhardness and fracture toughness of CAD-CAM dental materials.** BMC Oral Health, v. 22, p. 191, 2022.

ESPINAR, C. et al. **Color and optical properties of 3D printing restorative polymer-based materials: a scoping review.** Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, v. 34, p. 853-864, 2022.

FERRACANE, J. L. **Hygroscopic and hydrolytic effects in dental polymer networks.** Dental Materials, v. 22, n. 3, p. 211–222, 2006.

GIL-POZO, A. et al. **Effect of gastric acids on the mechanical properties of conventional and CAD/CAM resin composites – an in-vitro study.** Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, v. 155, p. 106565, 2024.

HUNT, R. H.; MCINTYRE, L. M. **The role of gastric acid in disease.** Gut, v. 57, n. 10, p. 1480–1490, 2008.

JAIN, S. et al. **Physical and mechanical properties of 3D-printed provisional crowns and fixed dental prosthesis resins compared to CAD/CAM milled and conventional provisional resins: a systematic review and meta-analysis.** Polymers, v. 14, 2022.

JOINER, A. **Tooth colour: a review of the literature.** Journal of Dentistry, v. 32, suppl. 1, p. 3–12, 2004.

KARASAN, D. et al. **Accuracy of additively manufactured and milled interim 3-unit fixed dental prostheses.** Journal of Prosthodontics, v. 31, p. 58-69, 2022.

KESSLER, A.; HICKEL, R.; REYMUS, M. **3D printing in dentistry – state of the art.** Operative Dentistry, v. 45, p. 30-40, 2020.

LUSSI, ADRIAN; CARVALHO, THIAGO SAADS. **Erosive tooth wear: a multifactorial condition of growing concern and increasing knowledge.** Monographs in Oral Science, v. 25, p. 1–15, 2014.

LUSSI, ADRIAN; JAEGGI, THOMAS. **Erosion diagnosis and risk factors.** Clinical Oral Investigations, v. 12, suppl. 1, p. S5–S13, 2008.

NAM, N. E. et al. **Effects of surface glazing on the mechanical and biological properties of 3D printed permanent dental resin materials.** Journal of Prosthodontic Research, v. 68, p. 273-282, 2024.

ODEME. **[Termociclagem – OMC 350 TS].** Disponível em: <https://www.odeme.com.br/produtos/27/detalhe?lang=pt>. Acesso em: 6 abr. 2026.

OZEL, G. S. et al. **Evaluation of Candida albicans and Streptococcus mutans adherence on different provisional crown materials.** Journal of Advanced Prosthodontics, v. 9, p. 335-340, 2017.

PARAVINA, R. D. et al. **Color difference thresholds in dentistry.** Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, v. 27, supl. 1, p. S1–S9, 2015

PIMENTEL, E. S. et al. **Effects of in vitro erosion on surface texture, microhardness, and color stability of resin composite with S-PRG fillers.** Clinical Oral Investigations, v. 27, p. 3545–3556, 2023.

RANJITKAR, SARBIN; KAIDONIS, JOHN A.; SMALES, ROGER J. **Gastroesophageal reflux disease and tooth erosion.** International Journal of Dentistry, v. 2012, Article ID 479850, 2012.

REVILLA-LEÓN, M. et al. **A review on chemical composition, mechanical properties, and manufacturing workflow of additively manufactured current polymers for interim dental restorations.** Journal of Esthetic and Restorative Dentistry, v. 31, p. 51-57, 2019.

SCHLUETER, N.; LUKA, B. **Erosive tooth wear** – a review on global prevalence and on its prevalence in risk groups. British Dental Journal, v. 224, n. 5, p. 364–370, 2018

SHIM, J. S.; KIM, J. E.; JEONG, S. H.; CHOI, Y. J.; RYU, J. J. **Printing accuracy, mechanical properties, surface characteristics, and microbial adhesion of 3D-printed resins with various printing orientations.** The Journal of Prosthetic Dentistry, v. 124, n. 4, p. 468–475, 2020.

SIDERIDOU, I. D.; KARABELA, M. M.; VOUVOUDI, E. C. **Physical properties of current dental nanohybrid and nanofill light-cured resin composites.** Dental Materials, v. 27, n. 6, p. 598–607, 2011.

STAMENKOVIĆ, D. D.; TANGO, R. N.; TODOROVIĆ, A.; KARASAN, D.; SAILER, I.; PARAVINA, R. D. **Staining and aging-dependent changes in color of CAD-CAM materials.** Journal of Prosthetic Dentistry, 2021.

STANSBURY, J. W.; IDACAVAGE, M. J. **3D printing with polymers:** Challenges among expanding options and opportunities. Dental Materials, v. 32, n. 1, p. 54–64, 2016.

TAHAYERI, A. et al. **3D printed versus conventionally cured provisional crown and bridge dental materials.** Dental Materials, v. 34, p. 192-200, 2018.

TANAKA, Lucas Eigi Borges. **Caracterização de resina impressa para confecção de restaurações definitivas.** 2023. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal, área de Prótese Dentária) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Campus de São José dos Campos, São José dos Campos, 2023.

TINASTEPE, N. et al. **Hardness and surface roughness of differently processed denture base acrylic resins after immersion in simulated gastric acid.** Journal of Prosthetic Dentistry, v. 129, p. 364.e1-364.e9, 2023.

VITA ZAHNFABRIK H. RAUTER GMBH & CO. KG. **VITA Easyshade® V – Digital tooth shade determination.** Disponível em: <https://www.vita-zahnfabrik.com/en/VITA-Easyshade-V-Digital-tooth-shade-determination-121857.html>. Acesso em: 6 abr. 2026.

WAN BAKAR, W.; MCINTYRE, J. **Susceptibility of selected tooth-coloured dental materials to damage by common erosive acids.** Australian Dental Journal, v. 53, p. 226-234, 2008.

WILLERS, A. E. et al. **Effect of erosive challenge with HCl on restorative materials.** Clinical Oral Investigations, v. 26, p. 5189-5203, 2022

ZERO, D. T.; LUSSI, A. **Erosion** – chemical and biological factors of importance to the dental practitioner. Caries Research, v. 39, n. 3, p. 190–201, 2005.

ANEXOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
CURSO DE ODONTOLOGIA
DISCIPLINA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ODONTOLOGIA

ATA DE APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 06 dias do mês de Maio de 2026, às 09 horas, em sessão pública no (a) Auditório da Pós-graduação do Centro de Ciências da Saúde desta Universidade, na presença da Banca Examinadora presidida pela Professora Dr^a. Thaís Marques Simek Vega Gonçalves

e pelos examinadores:

1 – Laura Beber Copetti.

2 – Zuíla Maria Lobato Wanghon,

o aluno Bruno Manoel Medeiros e Silva

apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação intitulado:

Efeito do ácido gástrico simulado na estabilidade da cor, rugosidade de superfície e microdureza de uma resina impressa 3D para coroas e pontes.

como requisito curricular indispensável à aprovação na Disciplina de Defesa do TCC e a integralização do Curso de Graduação em Odontologia. A Banca Examinadora, após reunião em sessão reservada, deliberou e decidiu pela aprovação do referido Trabalho de Conclusão do Curso, divulgando o resultado formalmente ao aluno e aos demais presentes, e eu, na qualidade de presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais componentes da Banca Examinadora e pelo aluno orientando.



Documento assinado digitalmente
Thaís Marques Simek Vega Gonçalves
Data: 15/05/2024 07:58:41-0300
CPF: ***.331.536-11
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Presidente da Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente
LAURA COSTA BEBER COPETTI
Data: 15/05/2024 09:34:51-0300
CPF: ***.301.120-11
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Examinador 1



Documento assinado digitalmente
ZUILA MARIA LOBATO WANGHON
Data: 15/05/2024 08:33:45-0300
CPF: ***.475.992-11
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Examinador 2



Documento assinado digitalmente
BRUNO MANOEL MEDEIROS E SILVA
Data: 15/05/2024 07:55:15-0300
CPF: ***.075.289-11
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Aluno