RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 03/03/2028.

UNESP - Universidade Estadual Paulista

"Júlio de Mesquita Filho"

Faculdade de Odontologia de Araraquara

Luana Alves Bassetti

Desenvolvimento de suspensão fotossensível de porcelana dentária para impressão 3D via Digital Light Processing

Araraquara

2026

UNESP - Universidade Estadual Paulista

"Júlio de Mesquita Filho"

Faculdade de Odontologia de Araraquara

Luana Alves Bassetti

Desenvolvimento de suspensão fotossensível de porcelana dentária para impressão 3D via Digital Light Processing

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

Orientador: Profª Drª Lígia Antunes Pereira Pinelli

Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Bellini Ferreira

Araraquara
2026

B319d

Bassetti, Luana Alves
Desenvolvimento de suspensão fotossensível de porcelana dentária para impressão 3D via Digital Light Processing / Luana Alves Bassetti. -- Araraquara, 2026
88 p. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Odontologia, Araraquara
Orientadora: Lígia Antunes Pereira Pinelli
Coorientador: Eduardo Bellini Ferreira

1. Impressão tridimensional. 2. Porcelana dentária. 3. Cerâmica. 4. Ciência e desenvolvimento. 5. Propriedades de superfície. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

Luana Alves Bassetti

Desenvolvimento de suspensão fotossensível de porcelana dentária para impressão 3D via Digital Light Processing

Comissão julgadora

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Odontologia

Presidente e orientador: Profª Drª Lígia Antunes Pereira Pinelli

2º examinador: Prof. Dr. Rodrigo França

3º examinador: Profª Drª Taisa Nogueira Pansani

Araraquara, 03 de março de 2026.

DADOS CURRICULARES

Luana Alves Bassetti

NASCIMENTO: 21 de dezembro de 2000 – Araraquara – São Paulo

FILIAÇÃO: Alessandre de Jesus Bassetti e Luciola Alves Maciel Bassetti

2018 - 2023 Graduação em Odontologia. Faculdade de Odontologia de Araraquara FOAr- UNESP, Araraquara, SP, Brasil.

2024 - 2026 Mestrado em Odontologia, área de concentração: Reabilitação Oral. Faculdade de Odontologia de Araraquara FOAr-UNESP, Araraquara, SP, Brasil.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Bassetti e Luciola, que sob muito sol me fizeram chegar até aqui pela sombra. Ao meu irmão, Felipe Valentin, que é a luz dos meus dias.

Ao Prof. Dr. Sérgio Russi, que compartilhou comigo o brilho nos olhos pela Reabilitação Oral e me guiou nessa escolha.

À minha orientadora, Profª Drª Lígia Antunes Pereira Pinelli, que é mãe, amiga, professora e companheira. Obrigada por ter confiado em mim e no meu potencial. Você me fez crescer em todos os aspectos: pessoal, profissional e acadêmico.

Ao meu coorientador, Prof. Dr. Eduardo Bellini Ferreira, pelo aceite desta colaboração, pela coordenação e pela concessão de pleno acesso ao espaço físico e à infraestrutura da SMM/USP, bem como pela ajuda e conhecimento técnico e teórico de extrema e essencial importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Oscar Peitl, pela coordenação do LaMaV e pela concessão de acesso às suas instalações, pelo apoio nos ensaios de densidade e na interpretação dos resultados, e pelos ensinamentos fundamentais na área de vidros.

Aos funcionários, técnicos e docentes do Departamento de Materiais Odontológicos e Prótese da Faculdade de Odontologia de Araraquara (FOAr/UNESP), em especial ao Fernando Rogério Moura Leite e ao João Monti Júnior.

Aos funcionários, técnicos e docentes do Departamento de Engenharia de Materiais da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), especialmente ao Sr. João e ao Sr. Pedro, técnicos da Área de Materiais Cerâmicos.

A doutoranda Ana Caroline Batista Pires por ter-me ensinado todos os procedimentos experimentais utilizados nesta pesquisa.

Ao CeRTEV (Center for Research, Tecnology and Education in Vitreous Materials) pelo suporte financeiro concedido (FAPESP/CEPID Nº do Processo 2013/07793-6) e ao LaMaV (Laboratório de Materiais Vítreos), do DEMa/UFSCar.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 2024/15415-6) pelo apoio financeiro essencial à realização desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Bassetti LA. Desenvolvimento de suspensão fotossensível de porcelana dentária para impressão 3D via Digital Light Processing [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2026.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi desenvolver uma suspensão fotossensível de porcelana dentária para impressão 3D via Digital Light Processing (DLP). Para tanto, duas amostras de um vidro experimental foram moídas em tamanhos médios de partículas de 3 μm e 10 μm, caracterizadas quanto à distribuição granulométrica, e utilizadas para confecção de compactos prensados e suspensões com 40:60 (em volume) de pó e meio líquido, e diferentes proporções (1, 2, 3, 4 e 5% em peso) de dispersante BYK 111, que posteriormente tiveram sua reologia determinada. A composição com 4% de dispersante foi escolhida por apresentar o comportamento reológico mais adequado e usada para compor 2 grupos experimentais: Porcelana Dentária Impressa com 3 μm e 10 μm, PDI 3 e PDI 10, respectivamente. Outros 3 grupos foram testados: Porcelana Dentária Prensada (PDP) com 3 μm e 10 μm (PDP 3 e PDP 10), e o controle, C, composto pelo pó de IPS e.max Ceram prensado. As amostras dos grupos foram caracterizadas por MEV, EDS e DRX (analisadas pelo método descritivo) e fisicamente-mecanicamente (densidade, rugosidade e dureza), e os resultados submetidos aos testes estatísticos de Kruskal-Wallis seguidos pelo pós-teste de Dunn com nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que o grupo PDI 3 apresentou microestrutura densa e mais parecida com a do grupo C. Os grupos com tamanho médio de partícula de 10 μm apresentaram picos de cristalização na análise por DRX (independentemente do método de manufatura). O grupo PDI 3 apresentou a maior dureza Vickers (mediana = 3,6 ± 0,5 GPa) com diferença estatisticamente significante dos demais grupos. O grupo PDI 10 exibiu os maiores valores de rugosidade superficial (Ra mediana= 1,21 ± 0,8μm), com diferença estatisticamente significante em comparação aos demais. Quanto à densidade relativa, os grupos C (98,3 % ± 1,0%), PDP 3 (95,3 ± 0,3%) e PDP 10 (95,1 % ± 1,1%) apresentaram os maiores valores, ao passo que os grupos PDI 3 (86,5 % ± 2,3%) e PDI 10 (75,7 % ± 7,7%) resultaram em menor densificação. Conclui-se que, pela metodologia adotada, foi possível desenvolver uma suspensão viável para impressão 3D de porcelana dentária via DLP utilizando partículas com tamanho médio de 3 μm.

Palavras-chave: Impressão tridimensional; Porcelana dentária; Cerâmica; Ciência e desenvolvimento; Propriedades de superfície.

Bassetti LA. Development of photosensitive dental porcelain suspension for 3D printing via Digital Light Processing [dissertação de mestrado]. Araraquara: Faculdade de Odontologia da UNESP; 2026.

ABSTRACT

The objective of this study was to develop a photosensitive dental porcelain suspension for 3D printing via Digital Light Processing (DLP). To this end, two samples of experimental glass were ground to average particle sizes of 3 μm and 10 μm, characterized in terms of particle size distribution, and used to make pressed compacts and suspensions with a 40:60 (by volume) ratio of powder to liquid medium, and different proportions (1, 2, 3, 4, and 5% by weight) of BYK 111 dispersant, which were subsequently tested for rheology. The composition with 4% dispersant was chosen because it presented the most suitable rheological behavior and was used to compose two experimental groups: Pressed Dental Porcelain with 3 μm and 10 μm, PDI 3 and PDI 10, respectively. Three other groups were tested: Pressed Dental Porcelain (PDP) with 3 μm and 10 μm (PDP 3 and PDP 10), and the control, C, composed of pressed IPS e.max Ceram powder. The samples from the groups were characterized by SEM, EDS, and XRD (analyzed by the descriptive method) and physically-mechanically (density, roughness, and hardness), and the results were submitted to Kruskal-Wallis statistical tests followed by Dunn's post-test with a significance level of 5%. The results showed that the PDI 3 group had a dense microstructure more similar to that of group C. The groups with an average particle size of 10 μm showed crystallization peaks in the XRD analysis (regardless of the manufacturing method). The PDI 3 group had the highest Vickers hardness (median = 3,6 ± 0,5 GPa) with a statistically significant difference from the other groups. The PDI 10 group exhibited the highest surface roughness values (median Ra = 1,21 ± 0,8 μm), with a statistically significant difference compared to the others. Regarding relative density, groups C (98,3% ± 1,0%), PDP 3 (95,3 ± 0,3%), and PDP 10 (95,1% ± 1,1%) presented the highest values, while groups PDI 3 (86,5% ± 2,3%) and PDI 10 (75,7% ± 7,7%) resulted in lower densification. It is concluded that, using the methodology adopted, it was possible to develop a viable suspension for 3D printing of dental porcelain via DLP using particles with an average size of 3 μm.

Keywords: printing, Three-dimensional; Dental porcelain; Ceramics; Science and development; Surface properties.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9

2 PROPOSIÇÃO 13

3 REVISÃO DA LITERATURA 14

4 MATERIAL E MÉTODO 18

4.1 Síntese, Moagem e Caracterização do Pó de Porcelana Dentária 19

4.2 Amostras Impressas (Grupos PDI) 24

4.2.1 Caracterização da suspensão fotossensível - testes reológicos 26

4.2.2 Teste de exposição e impressão 3D de porcelana dentária experimental ... 27

4.3 Amostras Prensadas do Pó Experimental (Grupos PDP) e do IPS e.max Ceram (Grupo C) 31

4.4 Preparação de Amostra e Análise de Microestrutura por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) 33

4.5 Espectroscopia de Dispersão de Energia de Raios X (EDS) 34

4.6 Difração de Raios X (DRX) 34

4.7 Dureza 34

4.8 Rugosidade 35

4.9 Determinação da Densidade 36

4.10 Forma de Análise dos Resultados 37

5 RESULTADOS 38

5.1 Caracterização do Pó de Porcelana Dentária Experimental 38

5.1.1 Análise química do pó de porcelana dentária experimental 38

5.1.2 Caracterização térmica por calorimetria exploratória diferencial (DSC) e identificação de temperaturas características 39

5.1.3 Análise da distribuição granulométrica 40

5.1.4 Análise da densidade real por picnometria de hélio 41

5.2 Análise do Comportamento Reológico das Suspensões 41

5.3 Testes de Exposição 44

5.4 Tratamento Térmico 45

5.5 Caracterização Microestrutural e Físico-Mecânica das Amostras 46

5.5.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) 46

5.5.2 Espectroscopia de dispersão de energia de raios X (EDS) 51

5.5.3 Difração de Raios X (DRX) 53

5.5.4 Dureza 55

5.5.5 Rugosidade 56

5.5.6 Densidade 56

6 DISCUSSÃO 60

7 CONCLUSÃO 75

REFERÊNCIAS 80

1 INTRODUÇÃO

Materiais cerâmicos são amplamente utilizados na odontologia para restaurar ou repor dentes danificados à reabilitação bucal [1,2]. Portanto, desenvolver tais materiais exige alcançar e compatibilizar resistência mecânica, durabilidade e coloração adequadas para devido à sua biocompatibilidade, estabilidade química e propriedades estéticas e mecânicas adequadas restaurar a anatomia, a função e a estética [3]. As próteses livres de metal podem ser produzidas por estratificação manual, que depende da habilidade do técnico em prótese dentária; por injeção de cera perdida; ou por processos baseados na tecnologia CAD/CAM (computer-aided design/computer-aided manufacture), que envolvem a manufatura subtrativa (MS) ou aditiva (MA).

A estratificação manual baseia-se na aplicação, com um pincel, de camadas de pó cerâmico sobre um troquel, acrescido de água destilada ou solução aquosa de sais, para a criação da anatomia do dente [4]. O excesso de líquido é retirado com um papel absorvente ou incorporado com mais pó. Posteriormente, a cerâmica é submetida à secagem e sinterização. Essa técnica é amplamente empregada, pois a aplicação de camadas estratificadas com diferentes opacidades e saturações de cor mimetiza a estética do dente [3,4]. Entretanto, os estratos são porosos e susceptíveis a defeitos internos, que propiciam o surgimento de áreas de concentração de tensão que aumentam o risco de fratura da restauração durante a mastigação [5]. As porcelanas dentárias do tipo feldspática são as mais utilizadas por esse método [6].

Já para a confecção de próteses pelo processo CAM a referência era a fresagem de blocos ou MS [7,8]. Contudo, no final do século XX, surgiu a impressão 3D ou MA, que cria objetos camada por camada, a partir de um modelo digital em formato STL (arquivo em linguagem de tesselação de superfícies ou linguagem de triangulação padrão) [1,7,9]. A união dessas camadas ocorre por diferentes meios, como sinterização ou polimerização de elementos de pequeno volume [10–12]e permite construir geometrias mais complexas, em maior quantidade do que a MS [7,8] customizadas e sob demanda. Como vantagens adicionais, permite economizar material por não gerar resíduos [8,13], reduzir o tempo de trabalho [14] e evitar o uso de instrumentos de corte, responsáveis pelo elevado custo da fresagem [13].

Na última década, houve um aumento da precisão e uma redução do custo das impressoras, associados à maior variedade de materiais [1,8,15], o que popularizou o uso das impressoras 3D em odontologia e favoreceu o fluxo digital tanto em consultórios quanto em laboratórios dentais. Nesse sentido, a MA demonstra potencial para ser uma importante rota de fabricação de polímeros e metais [13,16], especialmente no setor odontológico [1,17], com a impressão 3D de guias cirúrgicos, mockups, próteses provisórias, próteses múltiplas, próteses totais, modelos, implantes e materiais ortodônticos [1,9,14]. No entanto, a tecnologia ainda não demonstrou viabilidade comercial significativa para cerâmicas [13].

Para a impressão 3D de cerâmicas podem ser utilizadas técnicas de estereolitografia (SLA, do inglês *Stereolithography*) [18–20] e o processamento digital de luz, como o sistema DLP (do inglês *Digital Light Processing*) [12,21] e o LCM (do inglês *Lithography-based Ceramic Manufacturing*)[22–24] baseados na fotopolimerização em cuba. Há também técnicas de jato de material (*Material Jetting*) [11] e baseadas no uso de laser, como sinterização seletiva à laser (SLS, do inglês *Selective Laser Sintering*) [11,20,25] e fusão seletiva à laser (SLM, do inglês *Selective Laser Melting*) [7,26]. Destes, o SLA e o DLP são os mais antigos e produzem objetos por meio da exposição à luz, da movimentação de uma plataforma e da polimerização de uma suspensão cerâmica fotopolimerizável [27]. A impressão de cerâmicas como zircônia [16,28–36] e alumina[37–39] já está avançada, mas há poucos estudos com a impressão de dissilicato de lítio [24,40,41] e ainda menos com porcelanas dentárias do tipo feldspática [42,43].

É comum no mercado nacional as próteses fixas, consideradas finais, serem feitas por impressão em cuba a partir de suspensões fotossensíveis de resinas compostas híbridas, que levam em sua composição partículas de cerâmica e zircônia como, por exemplo, a resina priZma 3D Bio Crown da marca Makertech Labs©, a resina VARSEO Smile Crown Plus da marca BEGO© e a resina Nanolab 3D da marca Wilcos©; contudo, essas próteses mantém o conteúdo resinoso ao final da impressão, que não é eliminado no pós processamento. Essas próteses apresentam biocompatibilidade pouco estudada, maior rugosidade superficial que favorece a formação de biofilme, menor dureza e estabilidade estética, além de falta de padronização e risco de porosidade que comprometem sua durabilidade e previsibilidade clínica [44–46].

Hathan et al. [47] (2026) compararam um compósito cerâmico impresso denominado Crown X (Straumann) com as cerâmicas fresadas a partir de e.max CAD (dissilicato de lítio, Ivoclar) e Empress CAD (vitrocerâmica reforçada com leucita, Ivoclar). O Crown X demonstrou resistência flexural biaxial de 156 ± 31 MPa, o que correspondeu à segunda maior média entre os materiais analisados e superou o material fresado Empress CAD. Entretanto, em condições mais próximas da realidade clínica, as desvantagens tornaram-se evidentes: o baixo módulo flexural biaxial (10,8 ± 0,4 GPa) caracteriza um material mais flexível que, após a cimentação a um análogo de dentina, apresentou redução da resistência flexural, e exibiu o pior desempenho entre os grupos avaliados nessa condição.

Ainda não existem no mercado suspensões que resultem em uma porcelana feldspática pura, sem resina, produzida por impressão 3D e sinterização, para a confecção de próteses finais.

Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma suspensão cerâmica fotossensível com comportamento reológico compatível para impressão 3D pelo método de processamento digital de luz (DLP).

O desenvolvimento de uma porcelana dentária obtida por impressão 3D constitui uma contribuição relevante para a odontologia brasileira, ao investigar uma rota de fabricação que ainda não se encontra plenamente estabelecida na indústria de materiais cerâmicos. O material proposto baseia-se na remoção completa da fase polimérica por meio de um processo de eliminação de ligantes, seguida de sinterização, que resulta em uma estrutura integralmente cerâmica. Essa abordagem difere dos métodos convencionais e permite a obtenção de uma porcelana vítrea com composição semelhante à das porcelanas feldspáticas tradicionalmente empregadas na prática clínica.

Do ponto de vista técnico-científico, a impressão aplicada a porcelanas feldspáticas ainda é pouco explorada na literatura, o que evidencia uma lacuna de conhecimento a ser investigada. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta caráter inovador ao avaliar a viabilidade de fabricação, as características do material obtido e seu potencial de aplicação odontológica, e contribui para o avanço do conhecimento na área de materiais dentários e manufatura aditiva. Além disso, os resultados gerados podem subsidiar futuros processos de proteção intelectual e desenvolvimento tecnológico.

Sob a perspectiva tecnológica e social, a possibilidade de produção nacional de uma cerâmica odontológica por meio de equipamentos mais acessíveis aos laboratórios de prótese pode reduzir custos e dar maior autonomia produtiva. Tal cenário favorece a ampliação do acesso a reabilitações orais, com impacto positivo tanto no sistema público quanto no setor privado, alinhando-se às demandas por soluções tecnológicas que conciliem inovação, viabilidade econômica e relevância social.

7 CONCLUSÃO

A impressão de porcelana dentária pelo método DLP mostrou-se viável no grupo PDI 3 (tamanho médio de partícula de 3 μm), ao produzir amostras íntegras, com dureza e rugosidade próximas às da porcelana feldspática comercial.

- Foi possível desenvolver e caracterizar um pó experimental de porcelana dentária com composição química, comportamento térmico e distribuição granulométrica adequados, além de formular suspensões cerâmicas fotossensíveis com potencial para impressão 3D.
- O método de manufatura e o tamanho de partícula influenciaram diretamente as propriedades finais, sendo que as amostras prensadas apresentaram maior densidade, menor porosidade e melhor acabamento superficial, aproximando-se do material comercial.
- Em contrapartida, as amostras impressas com tamanho médio de partícula de 10 μm (PDI 10) apresentaram maior contração volumétrica, maior separação de camadas, elevada porosidade e maior rugosidade superficial.

Dessa forma, os resultados indicam que a impressão 3D de porcelana dentária por DLP ainda demanda otimizações para atingir desempenho físico-mecânico e microestrutural equivalente ao método convencional, especialmente em sistemas com partículas de maior tamanho.

REFERÊNCIAS

1. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental Materials*. 2019;35(6):825-846. doi:10.1016/j.dental.2019.02.026

2. Moshaverinia A. Review of the Modern Dental Ceramic Restorative Materials for Esthetic Dentistry in the Minimally Invasive Age. *Dent Clin North Am*. 2020;64(4):621-631. doi:10.1016/j.cden.2020.05.002

3. Kenneth J. Anusavice. *Phillips Materiais Dentários*. 2013.

4. Andrade, Allany de Oliveira; Silva, Ingridy Vanessa dos Santos; Vasconcelos, Marcelo Gadelha; Vasconcelos RG. Dental ceramics: classification, properties and clinical considerations. *Rev. Salusvita (Online)*. Preprint posted online 2017:36(4): 1129-1152.

5. Silva LH da, Lima E de, Miranda RB de P, Favero SS, Lohbauer U, Cesar PF. Dental ceramics: a review of new materials and processing methods. *Braz Oral Res*. 2017;31(suppl 1). doi:10.1590/1807-3107bor-2017.vol31.0058

6. Raposo LH. Restaurações totalmente cerâmicas: características, aplicações clinicas e longevidade. *Revista Pro-odonto Prótese e Dentística*. 2012;2:9-74.

7. Alharbi N, Wismeijer D, Osman R. Additive Manufacturing Techniques in Prosthodontics: Where Do We Currently Stand? A Critical Review. *Int J Prosthodont*. 2017;30(5):474-484. doi:10.11607/ijp.5079

8. Kessler A, Hickel R, Reymus M. 3D Printing in Dentistry-State of the Art. *Oper Dent*. 2020;45(1):30-40. doi:10.2341/18-229-L

9. Prasad S, Kader NA, Sujatha G, Raj T, Patil S. 3D Printing in Dentistry. *J 3D Print Med*. 2018;2(3):89-91. doi:10.2217/3dp-2018-0012

10. Mahamood S, Khader M, Ali H. Applications of 3-D printing in orthodontics: a review. *Int J Sci Stud*. 2016;3:267-270.

11. Revilla-León M, Meyer MJ, Zandinejad A, Özcan M. Additive manufacturing technologies for processing zirconia in dental applications. *Int J Comput Dent*. 2020;23(1):27-37.

12. Wang S, Peng L, Song C, Wang C. Digital light processing additive manufacturing of thin dental porcelain veneers. *J Eur Ceram Soc*. 2023;43(3):1161-1167. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2022.10.080

13. Methani MM, Revilla-León M, Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020;32(2):182-192. doi:10.1111/jerd.12535

14. Kihara H, Sugawara S, Yokota J, et al. Applications of three-dimensional printers in prosthetic dentistry. *J Oral Sci*. 2021;63(3):212-216. doi:10.2334/josnusd.21-0072

15. Coelho Silva P, Souza Santandrea R, Vinício Antônio Xavier M, Cardoso Brandão L. MANUFATURA ADITIVA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA. In: *IX Congresso de Engenharias Da Universidade Federal de São João Del-Rei*. Galoa; 2019. doi:10.17648/coen-2019-115402

16. Revilla-León M, Al-Haj Husain N, Barmak AB, Pérez-López J, Raigrodski AJ, Özcan M. Chemical Composition and Flexural Strength Discrepancies Between Milled and Lithography-Based Additively Manufactured Zirconia. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(9):778-783. doi:10.1111/jopr.13482

17. Van Noort R. The future of dental devices is digital. *Dent Mater*. 2012;28(1):3-12. doi:10.1016/J.DENTAL.2011.10.014

18. Li R, Xu T, Wang Y, Sun Y. Accuracy of zirconia crowns manufactured by stereolithography with an occlusal full-supporting structure: An in vitro study. *J Prosthet Dent*. 2023;130(6):902-907. doi:10.1016/j.prosdent.2022.01.015

19. Park SM, Park JM, Kim SK, Heo SJ, Koak JY. Flexural Strength of 3D-Printing Resin Materials for Provisional Fixed Dental Prostheses. *Materials (Basel)*. 2020;13(18). doi:10.3390/MA13183970

20. Weber S, Block A, Bärenfänger F. Assessment of attenuation properties for SLA and SLS 3D-printing materials in X-ray imaging and nuclear medicine. *Z Med Phys*. Published online March 2024. doi:10.1016/j.zemedi.2024.02.003

21. Cho JH, Yoon HI, Oh JH, Kim DH. Effect of maximum support attachment angle on intaglio surface trueness of anatomic contour monolithic prostheses manufactured by digital light processing and zirconia suspension. *J Prosthet Dent*. 2023;129(3):478-485. doi:10.1016/J.PROSDENT.2022.12.003

22. Patil A, Davidson Jebaseelan D, Bomze D, Gopal V. Wear behaviour of lithography ceramic manufactured dental zirconia. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):1-9. doi:10.1186/s12903-023-02974-4

23. Schönherr JA, Baumgartner S, Hartmann M, Stampfl J. Stereolithographic additive manufacturing of high precision glass ceramic parts. *Materials*. 2020;13(7):5-7. doi:10.3390/ma13071492

24. Schweiger J, Edelhoff D, Schubert O. 3D printing of ultra-thin veneers made of lithium disilicate using the LCM method in a digital workflow: A feasibility study. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. Published online November 2023. doi:10.1111/jerd.13155

25. Chang S, Li L, Lu L, Fuh J. Selective Laser Sintering of Porous Silica Enabled by Carbon Additive. *Materials*. 2017;10(11):1313. doi:10.3390/ma10111313

26. Grigoriev SN, Khmyrov RS, Gridnev MA, Tarasova T V., Gusarov A V. Optimizing the Process Parameters for Additive Manufacturing of Glass Components by Selective Laser Melting: Soda-Lime Glass Versus Quartz Glass. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*. 2022;144(6):1-6. doi:10.1115/1.4052840

27. Camargo IL de, Morais MM, Fortulan CA, Branciforti MC. A review on the rheological behavior and formulations of ceramic suspensions for vat photopolymerization. *Ceram Int*. 2021;47(9):11906-11921. doi:10.1016/j.ceramint.2021.01.031

28. Pinelli LAP, Ferreira I, Cândido dos Reis A. Accuracy and adaptation of 3D printed zirconia crowns: A review of current methodologies. *J Prosthet Dent*. 2025;134(6):2146-2155. doi:10.1016/j.prosdent.2025.01.027

29. Schweiger J, Bomze D, Schwentenwein M. 3D Printing of Zirconia–What is the Future? *Curr Oral Health Rep*. 2019;6(4):339-343. doi:10.1007/s40496-019-00243-4

30. Abualsaud R, Abussaud M, Assudmi Y, et al. Physiomechanical and Surface Characteristics of 3D-Printed Zirconia: An In Vitro Study. *Materials*. 2022;15(19):6988. doi:10.3390/ma15196988

31. Patil A, Davidson Jebaseelan D, Bomze D, Gopal V. Wear behaviour of lithography ceramic manufactured dental zirconia. *BMC Oral Health*. 2023;23(1):1-9. doi:10.1186/s12903-023-02974-4

32. Li X, Zhong H, Zhang J, et al. Dispersion and properties of zirconia suspensions for stereolithography. *Int J Appl Ceram Technol*. 2020;17(1):239-247. doi:10.1111/ijac.13321

33. Revilla-León M, Meyer MJ, Zandinejad A, Özcan M. Additive manufacturing technologies for processing zirconia in dental applications. *Int J Comput Dent*. 2020;23(1):27-37.

34. Gofman N, Gitis V. 3D printing of porous zirconia membranes by nanoparticle jetting. *J Eur Ceram Soc*. 2024;44(14):116712. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2024.116712

35. Moon JM, Jeong CS, Lee HJ, et al. A Comparative Study of Additive and Subtractive Manufacturing Techniques for a Zirconia Dental Product: An Analysis of the Manufacturing Accuracy and the Bond Strength of Porcelain to Zirconia. *Materials*. 2022;15(15):5398. doi:10.3390/ma15155398

36. Pinelli LAP, Ferreira I, Reis AC dos. Analysis of flexural strength and Weibull modulus of printed and milled zirconia: A systematic review. *J Prosthet Dent*. 2025;134(3):628.e1-628.e8. doi:10.1016/j.prosdent.2025.05.032

37. Alves PLA, Verza JR, Luz AP. Rheological Behavior of Alumina Suspensions for Additive Manufacturing Using Digital Light Processing. *Materials Research*. 2023;26. doi:10.1590/1980-5373-mr-2023-0270

38. Li H, Elsayed H, Colombo P. Effect of particle size distribution and printing parameters on alumina ceramics prepared by Additive Manufacturing. *Ceram Int*. 2024;50(4):6340-6348. doi:10.1016/j.ceramint.2023.11.365

39. Xu X, Zhou S, Wu J, Zhang C, Liu X. Inter-particle interactions of alumina powders in UV-curable suspensions for DLP stereolithography and its effect on rheology, solid loading, and self-leveling behavior. *J Eur Ceram Soc*. 2021;41(4):2763-2774. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2020.12.004

40. Paqué PN, Gantner C, Mätzener KJ, Özcan M, Ioannidis A. Load-bearing capacity, internal accuracy and time-efficiency of heat-pressed, milled and 3D-printed lithium disilicate ultra-thin occlusal veneers. *Dental Materials*. 2024;40(10):1602-1610. doi:10.1016/j.dental.2024.07.017

41. Abreu JLB de, Hirata R, Witek L, et al. Manufacturing and characterization of a 3D printed lithium disilicate ceramic via robocasting: A pilot study. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023;143:105867. doi:10.1016/j.jmbbm.2023.105867

42. Wang S, Peng L, Song C, Wang C. Digital light processing additive manufacturing of thin dental porcelain veneers. *J Eur Ceram Soc*. 2023;43(3):1161-1167. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2022.10.080

43. Yang B, Wang S, Wang G, Yang X. Mechanical properties and wear behaviors analysis of fluorapatite glass-ceramics based on stereolithography 3D printing. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021;124:104859. doi:10.1016/j.jmbbm.2021.104859

44. Balestra D, Lowther M, Goracci C, et al. 3D Printed Materials for Permanent Restorations in Indirect Restorative and Prosthetic Dentistry: A Critical Review of the Literature. *Materials*. 2024;17(6):1380. doi:10.3390/ma17061380

45. Alzahrani KM. Comparative In vitro Analysis of Characteristics Between CAD-CAM Fabricated Ceramic Crowns and 3D-Printed Resin-Based Dental Crowns. *Journal of Pioneering Medical Sciences*. 2025;14(Special Issue 1):362-365. doi:10.47310/jpms202514S0146

46. Albrecht M, Schmidt F, Menzel F, Yassine J, Beuer F, Unkovskiy A. Comparative Analysis of Modern 3D-Printed Hybrid Resin-Ceramic Materials for Indirect Restorations: An In Vitro Study. *Polymers (Basel)*. 2024;16(22):3161. doi:10.3390/polym16223161

47. Hathan S, Oliveira D, Amorim KG, et al. Evaluating the biomechanical properties of 3D-milled and 3D-printed restorative dental materials. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2026;173:107202. doi:10.1016/j.jmbbm.2025.107202

48. Höland W, Beall GH, Smith CM. Glass-ceramics: From ideas to products. *Journal of the American Ceramic Society*. Published online December 9, 2024. doi:10.1111/jace.20086

49. Deubener J, Allix M, Davis MJ, et al. Updated definition of glass-ceramics. *J Non Cryst Solids*. 2018;501:3-10. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2018.01.033

50. William D. Callister JrJW& S. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 9th ed. 2013.

51. Methani MM, Revilla-León M, Zandinejad A. The potential of additive manufacturing technologies and their processing parameters for the fabrication of all-ceramic crowns: A review. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2020;32(2):182-192. doi:10.1111/jerd.12535

52. Lu Y, Mei Z, Zhang J, et al. Flexural strength and Weibull analysis of Y-TZP fabricated by stereolithographic additive manufacturing and subtractive manufacturing. *J Eur Ceram Soc*. 2020;40(3):826-834. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2019.10.058

53. Zandinejad A, Methani MM, Schneiderman ED, Revilla-León M, BDS DM. Fracture Resistance of Additively Manufactured Zirconia Crowns when Cemented to Implant Supported Zirconia Abutments: An in vitro Study. *Journal of Prosthodontics*. 2019;28(8):893-897. doi:10.1111/jopr.13103

54. Branco AC, Silva R, Santos T, et al. Suitability of 3D printed pieces of nanocrystalline zirconia for dental applications. *Dental Materials*. 2020;36(3):442-455. doi:10.1016/j.dental.2020.01.006

55. Frąckiewicz W, Szymlet P, Jedliński M, Światłowska-Bajzert M, Sobolewska E. Mechanical characteristics of zirconia produced additively by 3D printing in dentistry - A systematic review with meta-analysis of novel reports. *Dental Materials*. 2024;40(1):124-138. doi:10.1016/j.dental.2023.10.020

56. Li B, Jiang Q, Meng D. Evaluation of the trueness and adaptation of zirconia crowns fabricated with stereolithography. *Dent Mater J*. 2023;42(3):2022-2146. doi:10.4012/dmj.2022-146

57. Galante R, Figueiredo-Pina CG, Serro AP. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental Materials*. 2019;35(6):825-846. doi:10.1016/j.dental.2019.02.026

58. Wang G, Shen W, Li Y, Sun Y, Wang S. Improved mechanical performance and forming accuracy of fluorapatite glass-ceramics manufactured using vat photopolymerization with the addition of zirconia. *Addit Manuf*. 2023;74. doi:10.1016/j.addma.2023.103718

59. Shen W, Wang G, Wang S, et al. Effect of Al2O3 whiskers on forming accuracy, mechanical and tribological performances of translucent glass-ceramics formed by 3D printing. *J Eur Ceram Soc*. 2024;44(5):3236-3246. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2023.12.053

60. Yang B, Wang S, Wang G, Yang X. Mechanical properties and wear behaviors analysis of fluorapatite glass-ceramics based on stereolithography 3D printing. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021;124. doi:10.1016/j.jmbbm.2021.104859

61. Wang G, Shen W, Li Y, Sun Y, Wang S. Improved mechanical performance and forming accuracy of fluorapatite glass-ceramics manufactured using vat

photopolymerization with the addition of zirconia. *Addit Manuf*. 2023;74. doi:10.1016/j.addma.2023.103718

62. Shen W, Wang G, Wang S, et al. Effect of Al2O3 whiskers on forming accuracy, mechanical and tribological performances of translucent glass-ceramics formed by 3D printing. *J Eur Ceram Soc*. 2024;44(5):3236-3246. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2023.12.053

63. Wang S, Peng L, Song C, Wang C. Digital light processing additive manufacturing of thin dental porcelain veneers. *J Eur Ceram Soc*. 2023;43(3):1161-1167. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2022.10.080

64. Baumgartner S, Gmeiner R, Schönherr JA, Stampfl J. Stereolithography-based additive manufacturing of lithium disilicate glass ceramic for dental applications. *Materials Science and Engineering: C*. 2020;116:111180. doi:10.1016/j.msec.2020.111180

65. Bassetti LA, Pires ACB, Ferreira EB, Pinelli LAP. Photosensitive Fluorapatite Suspensions for 3D Printing by Digital Light Processing: Preliminary Studies and Potential Applications. In: 2025:172-180. doi:10.1007/978-3-031-94921-0_19

66. Darder ML, Paz-González A, García-Tomillo A, Lado M, Wilson MG. Comparing multifractal characteristics of soil particle size distributions calculated by Mie and Fraunhofer models from laser diffraction measurements. *Appl Math Model*. 2021;94:36-48. doi:10.1016/j.apm.2020.12.044

67. Zakeri S, Vippola M, Levänen E. A comprehensive review of the photopolymerization of ceramic resins used in stereolithography. *Addit Manuf*. 2020;35:101177. doi:10.1016/j.addma.2020.101177

68. Yang Y, Wang B, Li J, et al. Solid loading optimization of ceramic slurry to achieve high-performance silica-based ceramic core through vat photopolymerization. *Ceram Int*. 2024;50(24):55307-55316. doi:10.1016/j.ceramint.2024.10.385

69. Štaffová M, Ondreáš F, Svatík J, Zbončák M, Jančář J, Lepcio P. 3D printing and post-curing optimization of photopolymerized structures: Basic concepts and effective tools for improved thermomechanical properties. *Polym Test*. 2022;108:107499. doi:10.1016/j.polymertesting.2022.107499

70. Skienhe H, Abdou A, Matinlinna JP, Ferrari M, Salameh Z. Effect of low-fusing porcelain glaze as zirconia surface treatment on the adhesion of resin cement. *J Clin Exp Dent*. Published online 2025:e407-e415. doi:10.4317/jced.62601

71. Revilla-León M, Al-Haj Husain N, Barmak AB, Pérez-López J, Raigrodski AJ, Özcan M. Chemical Composition and Flexural Strength Discrepancies Between Milled and Lithography-Based Additively Manufactured Zirconia. *Journal of Prosthodontics*. 2022;31(9):778-783. doi:10.1111/jopr.13482

72. Komissarenko DA, Sokolov PS, Evstigneeva AD, Shmeleva IA, Dosovitsky AE. Rheological and Curing Behavior of Acrylate-Based Suspensions for the DLP 3D Printing of Complex Zirconia Parts. *Materials*. 2018;11(12):2350. doi:10.3390/ma11122350

73. Alazzawi MK, Rohn CL, Beyoglu B, Haber RA. Rheological assessment of cohesive energy density of highly concentrated stereolithography suspensions. *Ceram Int*. 2020;46(6):8473-8477. doi:10.1016/j.ceramint.2019.11.225

74. Yaghtin M, Yaghtin A, Tang Z, Troczynski T. Improving the rheological and stability characteristics of highly concentrated aqueous yttria stabilized zirconia slurries. *Ceram Int*. 2020;46(17):26991-26999. doi:10.1016/j.ceramint.2020.07.176

75. Kontonasaki E, Kantiranis N, Papadopoulou L, et al. Microstructural characterization and comparative evaluation of physical, mechanical and biological properties of three ceramics for metal–ceramic restorations. *Dental Materials*. 2008;24(10):1362-1373. doi:10.1016/j.dental.2008.03.002

76. Phatak A, Gupta P, Mandal S, Agrawal H, Parkash O, Kumar D. Hardness-Porosity-Grain Size Interrelationship in Conventionally Sintered 3 mol% Yttria Stabilized Zirconia. *High-Temperature Materials*. 2024;1(2):10008-10008. doi:10.70322/htm.2024.10008

77. Gonzaga CC, Cesar PF, Okada CY, Fredericci C, Beneduce Neto F, Yoshimura HN. Mechanical properties and porosity of dental glass-ceramics hot-pressed at different temperatures. *Materials Research*. 2008;11(3):301-306. doi:10.1590/S1516-14392008000300012

78. Kalita T, Kalita C, Das L, et al. Comparative Evaluation of Colour Stability and Surface Roughness of Nanohybrid Composite Resins in Mouth Rinse and Colouring Beverages. *Cureus*. Published online February 22, 2023. doi:10.7759/cureus.35303

79. Sultan SES, Salloum MG. Analysis of the Surface Roughness of Different Denture Teeth Materials: A Quantitative In-Vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024;16(Suppl 3):S2494-S2496. doi:10.4103/jpbs.jpbs_333_24

80. VÖLKEL T. Report IPS e.max No 17. [Internet]. [acesso 2026 abril 13]. Disponível em: https://www.ivoclar.com/medias/IPS-e.maxReporte.pdf?context=bWFzdGVyfGNlbHVtLWNvbm5lY3QyLWFzc2V0c3wxODQ2MDE3fGFwcGxpY2F0aW9uL3BkZnxhRFE0TDJoak9DOHhNVFV6T0RBd05qY3dOREUxT0M5SlVGTWdaUzV0WVhnZ1VtVndiM0owTFdVdWNHUm18MGFkMzY4NzgyMjEwYjUyNGY4MzQ2ZjdmYTQ0YzMxNmU5NGQ4YjZjNGE3NDE4MThhOTRiZTY1YmIzNGM4YzZlZA

81. Yang B, Wang S, Wang G, Yang X. Mechanical properties and wear behaviors analysis of fluorapatite glass-ceramics based on stereolithography 3D printing. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2021;124:104859. doi:10.1016/j.jmbbm.2021.104859

82. Fu K, Wang S, Wang G, Wang Y. The effects of calcium oxide on fluorapatite crystal morphology and mechanical property of functional glass-ceramics. *Ceram Int*. 2018;44(16):20531-20538. doi:10.1016/j.ceramint.2018.08.050

83. Fatahi Bafghi M, Mehrabi HA, Eftekhari Yekta B. Crystallization Behavior, Mechanical Properties, and Chemical Resistance of Leucite–Fluoroapatite Glass-Ceramic Glazes. *Int J Appl Glass Sci*. 2013;4(3):266-273. doi:10.1111/ijag.12018

84. Casasola R, Pérez JM, Romero M. Effect of fluorine content on glass stability and the crystallisation mechanism for glasses in the SiO2–CaO–K2O–F system. *J Non Cryst Solids*. 2013;378:25-33. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2013.06.006

85. Höland W, Beall GH, Smith CM. Glass-ceramics: From ideas to products. *Journal of the American Ceramic Society*. Published online December 9, 2024. doi:10.1111/jace.20086

86. Henry J, Rashwan M, Karpukhina N, Hill RG. Influence of Fluorine Content on the Crystallisation of Potassium and Barium Fluorphlogopite Glass-Ceramics. *J Non Cryst Solids*. 2021;559:120680. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2021.120680

87. Sujirote K, Rawlings RD, Rogers PS. Effect of fluoride on sinterability of a silicate glass powder. *J Eur Ceram Soc*. 1998;18(9):1325-1330. doi:10.1016/S0955-2219(98)00061-2

88. Höland Wolfram, Beall GH. *Glass-Ceramic Technology*. John Wiley & Sons, Inc.; 2020.

89. Keyvani N, Marghussian VK, Rezaie HR, Kord M. Effect of Al_2O_3 Content on Crystallization Behavior, Microstructure, and Mechanical Properties of SiO_2 – Al_2O_3 –CaO–MgO Glass–Ceramics. *Int J Appl Ceram Technol*. 2011;8(1):203-213. doi:10.1111/j.1744-7402.2009.02428.x

90. Chen M, Zhu S, Wang F. Crystallization Behavior of SiO_2 –Al_2O_3 –ZnO–CaO Glass System at 1123–1273 K. *Journal of the American Ceramic Society*. 2010;93(10):3230-3235. doi:10.1111/j.1551-2916.2010.03859.x

91. del-Mazo-Barbara L, Ginebra MP. Rheological characterisation of ceramic inks for 3D direct ink writing: A review. *J Eur Ceram Soc*. 2021;41(16):18-33. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2021.08.031

92. Evans P, Turner G, Patel R, et al. Shrinkage, microstructure, and mechanical properties of sintered 3D-printed silica via stereolithography. *Int J Appl Ceram Technol*. 2024;21(3):1638-1647. doi:10.1111/ijac.14612

93. M. Griffith, J.W. Halloran TMC. *Stereolithography Resin for Rapid Prototyping of Ceramics and Metals*. 2000.

94. Güngör F, Ay N. The effect of particle size of body components on the processing parameters of semi transparent porcelain. *Ceram Int*. 2018;44(9):10611-10620. doi:10.1016/j.ceramint.2018.03.086

95. Alves HJ, Melchiades FG, Boschi AO. Effect of feldspar particle size on the porous microstructure and stain resistance of polished porcelain tiles. *J Eur Ceram Soc*. 2012;32(10):2095-2102. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2012.03.019

96. Spath S, Drescher P, Seitz H. Impact of Particle Size of Ceramic Granule Blends on Mechanical Strength and Porosity of 3D Printed Scaffolds. *Materials*. 2015;8(8):4720-4732. doi:10.3390/ma8084720

97. M. Griffith, J.W. Halloran TMC. *Stereolithography Resin for Rapid Prototyping of Ceramics and Metals*. 2000.

98. Sarwat SG. Contamination in wet-ball milling. *Powder Metallurgy*. 2017;60(4):267-272. doi:10.1080/00325899.2017.1280647

99. Nguyen HGT, Horn JC, Bleakney M, Siderius DW, Espinal L. Understanding Material Characteristics through Signature Traits from Helium Pycnometry. *Langmuir*. 2019;35(6):2115-2122. doi:10.1021/acs.langmuir.8b03731

100. Kenneth J. Anusavice. *Phillips Materiais Dentários*. 2013.

101. William D. Callister JrJW& S. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*. 9th ed. 2013.

102. Camargo IL de, Morais MM, Fortulan CA, Branciforti MC. A review on the rheological behavior and formulations of ceramic suspensions for vat photopolymerization. *Ceram Int*. 2021;47(9):11906-11921. doi:10.1016/j.ceramint.2021.01.031

103. Komissarenko D, Roland S, Seeber BSM, Graule T, Blugan G. DLP 3D printing of high strength semi-translucent zirconia ceramics with relatively low-loaded UV-curable formulations. *Ceram Int*. 2023;49(12):21008-21016. doi:10.1016/j.ceramint.2023.03.236

104. Fernandes JG, Barcelona P, Blanes M, et al. Study of mixing process of low temperature co-fired ceramics photocurable suspension for digital light processing stereolithography. *Ceram Int*. 2021;47(11):15931-15938. doi:10.1016/j.ceramint.2021.02.167

105. Gan M, Yi Y, Li T, Chua BW. A simple preparation method and the rheological properties of high solid loading slurries for ceramic vat polymerization. *Mater Today Commun*. 2023;37:107143. doi:10.1016/j.mtcomm.2023.107143

106. Alazzawi MK, Rohn CL, Beyoglu B, Haber RA. Rheological assessment of cohesive energy density of highly concentrated stereolithography suspensions. *Ceram Int*. 2020;46(6):8473-8477. doi:10.1016/j.ceramint.2019.11.225

107. Yaghtin M, Yaghtin A, Tang Z, Troczynski T. Improving the rheological and stability characteristics of highly concentrated aqueous yttria stabilized zirconia

slurries. *Ceram Int*. 2020;46(17):26991-26999. doi:10.1016/j.ceramint.2020.07.176

108. Li X, Zhong H, Zhang J, et al. Dispersion and properties of zirconia suspensions for stereolithography. *Int J Appl Ceram Technol*. 2020;17(1):239-247. doi:10.1111/ijac.13321

109. Hinczewski C, Corbel S, Chartier T. Ceramic suspensions suitable for stereolithography. *J Eur Ceram Soc*. 1998;18(6):583-590. doi:10.1016/S0955-2219(97)00186-6

110. Zocca A, Colombo P, Gomes CM, Günster J. Additive Manufacturing of Ceramics: Issues, Potentialities, and Opportunities. *Journal of the American Ceramic Society*. 2015;98(7):1983-2001. doi:10.1111/jace.13700

111. Borlaf M, Serra-Capdevila A, Colominas C, Graule T. Development of UV-curable ZrO2 slurries for additive manufacturing (LCM-DLP) technology. *J Eur Ceram Soc*. 2019;39(13):3797-3803. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2019.05.023

112. Chen Z, Li Z, Li J, et al. 3D printing of ceramics: A review. *J Eur Ceram Soc*. 2019;39(4):661-687. doi:10.1016/j.jeurceramsoc.2018.11.013

113. Bose S, Akdogan EK, Balla VK, et al. 3D printing of ceramics: Advantages, challenges, applications, and perspectives. *Journal of the American Ceramic Society*. 2024;107(12):7879-7920. doi:10.1111/jace.20043

114. Liu C, Deng Y, Gruner D, Kaletsch A, Gestrich T, Broeckmann C. Densification, deformation, and delamination during co-sintering process of metal–ceramic laminates. *Journal of the American Ceramic Society*. 2025;108(2). doi:10.1111/jace.20190

115. Yared W, Gadow R. Elimination of delamination cracks in ceramics manufactured using LCD stereolithography. *Open Ceramics*. 2024;17:100531. doi:10.1016/j.oceram.2023.100531

116. Wu Y, Guo K, Ni J. Characterization of Particle Size Effects on Sintering Shrinkage and Porosity in Stainless Steel Metal Injection Molding Using Multi-Physics Simulation. *Materials*. 2024;17(23):5691. doi:10.3390/ma17235691

117. Patel M, Singh V, Kumar D. Effect of particle size and sintering additive on densification and mechanical properties of titanium diboride (TIB2) ceramic. *Int J Refract Metals Hard Mater*. 2023;117:106380. doi:10.1016/j.ijrmhm.2023.106380

118. Fu L, Engqvist H, Xia W. Glass–Ceramics in Dentistry: A Review. *Materials*. 2020;13(5):1049. doi:10.3390/ma13051049

119. Yuan K, Wang F, Gao J, et al. Effect of sintering time on the microstructure, flexural strength and translucency of lithium disilicate glass-ceramics. *J Non Cryst Solids*. 2013;362:7-13. doi:10.1016/j.jnoncrysol.2012.11.010

120. Vallerini B de F, Silva LD, Villas-Bôas M de OC, Peitl O, Zanotto ED, Pinelli LAP. Microstructure and mechanical properties of an experimental lithium disilicate dental glass-ceramic. *Ceram Int*. 2024;50(1):188-196. doi:10.1016/j.ceramint.2023.10.093

121. Hallmann L, Ulmer P, Kern M. Effect of microstructure on the mechanical properties of lithium disilicate glass-ceramics. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2018;82:355-370. doi:10.1016/j.jmbbm.2018.02.032

122. Ivone Regina de Oliveira, André Rocha Studart, Rafael Giuliano Pileggi VCP. *Dispersão e Empacotamento de Partículas: Princípios e Aplicações Em Processamento Cerâmico*. 200AD.

123. BYK-Chemie GmbH. DISPERBYK-111. *Technical Data Sheet*. Preprint posted online 2023. [Internet]. [acesso 2026 abril 13]. Disponível em: https://www.byk.com/en/products/additive-guide/disperbyk-111

124. Uchikoshi T, Sakka Y. Phosphate Esters as Dispersants for the Cathodic Electrophoretic Deposition of Alumina Suspensions. *Journal of the American Ceramic Society*. 2008;91(6):1923-1926. doi:10.1111/j.1551-2916.2008.02379.x

125. Baumgartner S, Gmeiner R, Schönherr JA, Stampfl J. Stereolithography-based additive manufacturing of lithium disilicate glass ceramic for dental applications. *Materials Science and Engineering: C*. 2020;116:111180. doi:10.1016/j.msec.2020.111180

126. Šimunović L, Brenko L, Marić AJ, Meštrović S, Haramina T. Rheology of Dental Photopolymers for SLA/DLP/MSLA 3D Printing. *Polymers (Basel)*. 2025;17(19):2706. doi:10.3390/polym17192706

127. Marsico C, Carpenter I, Kutsch J, Fehrenbacher L, Arola D. Additive manufacturing of lithium disilicate glass-ceramic by vat polymerization for dental appliances. *Dental Materials*. 2022;38(12):2030-2040. doi:10.1016/j.dental.2022.11.005

128. Paqué PN, Gantner C, Mätzener KJ, Özcan M, Ioannidis A. Load-bearing capacity, internal accuracy and time-efficiency of heat-pressed, milled and 3D-printed lithium disilicate ultra-thin occlusal veneers. *Dental Materials*. 2024;40(10):1602-1610. doi:10.1016/j.dental.2024.07.017

129. Evans P, Turner G, Patel R, et al. Shrinkage, microstructure, and mechanical properties of sintered 3D-printed silica via stereolithography. *Int J Appl Ceram Technol*. 2024;21(3):1638-1647. doi:10.1111/ijac.14612

130. ELEGOO. LCD Screen for Saturn 2 & Saturn 8K 3D Printer (specifications). [Internet]. [acesso 2026 abril 13]. Disponível em: https://www.elegoo.com/products/elegoo-10-inches-8k-mono-lcd-for-saturn-2-3d-printer. 2025.

131. Enneti RK, Park SJ, German RM, Atre S V. Review: Thermal Debinding Process in Particulate Materials Processing. *Materials and Manufacturing Processes*. 2012;27(2):103-118. doi:10.1080/10426914.2011.560233

132. Pfaffinger M, Mitteramskogler G, Gmeiner R, Stampfl J. Thermal Debinding of Ceramic-Filled Photopolymers. *Materials Science Forum*. 2015;825-826:75-81. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.825-826.75

133. Chen X, Chadwick TC, Wilson RM, Hill RG, Cattell MJ. Crystallization and flexural strength optimization of fine-grained leucite glass-ceramics for dentistry. *Dental Materials*. 2011;27(11):1153-1161. doi:10.1016/j.dental.2011.08.009

134. Li X, Zang X, Xing X, Li J, Ma Y, Li T. Effect of Fe2O3 on the Crystallization Behavior of Glass-Ceramics Produced from Secondary Nickel Slag. *Metals (Basel)*. 2022;12(1):164. doi:10.3390/met12010164

135. Ivoclar Vivadent. *Instruções de Uso: Catálogo*. Ivoclar Vivadent; 2024. [Internet]. [acesso 2026 abril 13]. Disponível em: https://www.ivoclar.com/pt_br/eifu?brand=IPS+e.max+Press

136. Maca K, Pouchly V, Boccaccini AR. Sintering densification curve: A practical approach for its construction from dilatometric shrinkage data. *Science of Sintering*. 2008;40(2):117-122. doi:10.2298/SOS0802117M

137. Boldin MS, Popov AA, Lantsev EA, Nokhrin A V., Chuvil'deev VN. Investigation of the Densification Behavior of Alumina during Spark Plasma Sintering. *Materials*. 2022;15(6):2167. doi:10.3390/ma15062167

138. Kakanuru P, Pochiraju K. Simulation of shrinkage during sintering of additively manufactured silica green bodies. *Addit Manuf*. 2022;56:102908. doi:10.1016/j.addma.2022.102908

139. Halloran JW. Ceramic Stereolithography: Additive Manufacturing for Ceramics by Photopolymerization. *Annu Rev Mater Res*. 2016;46(1):19-40. doi:10.1146/annurev-matsci-070115-031841

140. Margarida M, Lima RA, Monteiro R da CC. Viscous Sintering in a Glass-Alumina System. *Materials Science Forum*. 2008;587-588:143-147. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.587-588.143

141. Reis RMC V., Barbosa AJ, Ghussn L, Ferreira EB, Prado MO, Zanotto ED. Sintering and rounding kinetics of irregular glass particles. *Journal of the American Ceramic Society*. 2019;102(2):845-854. doi:10.1111/jace.15997

142. Garg K, Kaur I, Vala AP, Deepashree C, Nair VVR, John N. Investigation of the Surface Roughness and Hardness of Different Denture Teeth Materials: An In vitro Study. *J Pharm Bioallied Sci*. 2024;16(Suppl 1):S427-S430. doi:10.4103/jpbs.jpbs_644_23

143. Gunawan J, Taufik D, Takarini V, Hasratiningsih Z, Ramelan A. Hardness characteristic of dental porcelain synthesized from Indonesian natural sand. In: 2018:020004. doi:10.1063/1.5023938

144. Gutiérrez-Salazar M del P, Reyes-Gasga J. Microhardness and chemical composition of human tooth. *Materials Research*. 2003;6(3):367-373. doi:10.1590/S1516-14392003000300011

145. de Almeida-Junior AA, Adabo GL, Galvão BR, Longhini D, dos Santos C. Evaluation of Mechanical Properties of Dental Feldsphatic Porcelains for Metal and Zirconia Core. *Materials Science Forum*. 2012;727-728:1104-1107. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.727-728.1104

146. Dejak BD, Langot C, Krasowski M, Klich M. Evaluation of Hardness and Wear of Conventional and Transparent Zirconia Ceramics, Feldspathic Ceramic, Glaze, and Enamel. *Materials*. 2024;17(14):3518. doi:10.3390/ma17143518

147. Abreu JLB de, Hirata R, Witek L, et al. Manufacturing and characterization of a 3D printed lithium disilicate ceramic via robocasting: A pilot study. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2023;143:105867. doi:10.1016/j.jmbbm.2023.105867

148. Alves MFRP, dos Santos C, Duarte I, Fernandes MHFV, Olhero SM. Complex shapes of lithium disilicate glass-ceramics developed by material extrusion. *Addit Manuf*. 2024;80:103973. doi:10.1016/j.addma.2024.103973

149. Abualsaud R, Abussaud M, Assudmi Y, et al. Physiomechanical and Surface Characteristics of 3D-Printed Zirconia: An In Vitro Study. *Materials*. 2022;15(19):6988. doi:10.3390/ma15196988

150. Bataweel OO, Roulet J, Rocha MG, Zoidis P, Pereira P, Delgado AJ. Effect of Simulated Tooth Brushing on Surface Roughness, Gloss, and Color Stability of Milled and Printed Permanent Restorative Materials. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. Published online March 11, 2025. doi:10.1111/jerd.13450

151. Alrabiah M, Binrayes A, Alsayed HD, Althumairy RI, Habib SR. Chairside finishing and polishing of modern dental ceramics: material-specific variations in surface roughness. *Front Mater*. 2026;12. doi:10.3389/fmats.2025.1744731

152. Bernard-Granger G, Monchalin N, Guizard C. Sintering of ceramic powders: Determination of the densification and grain growth mechanisms from the “grain size/relative density” trajectory. *Scr Mater*. 2007;57(2):137-140. doi:10.1016/j.scriptamat.2007.03.030