

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 26/02/2028.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

SAMIR DE MOURA GONÇALVES LEITE

**INSERTOS CIRÚRGICOS PIEZOELÉTRICOS: comparação do tempo
de corte, calor gerado e desgaste estrutural por meio de
osteotomias em osso bovino**

SAMIR DE MOURA GONÇALVES LEITE

INSERTOS CIRÚRGICOS PIEZOELÉTRICOS: comparação do tempo de corte, calor gerado e desgaste estrutural por meio de osteotomias em osso bovino

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRE pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Desempenho de materiais e técnicas em odontologia restauradora.

Orientador: Prof. Titular Dr. Renato Sussumu Nishioka

São José dos Campos

2026

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2026]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>
Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Leite, Samir de Moura Gonçalves

Insertos cirúrgicos piezoelétricos: comparação do tempo de corte, calor gerado e desgaste estrutural por meio de osteotomias em osso bovino / Samir de Moura Gonçalves Leite. - São José dos Campos : [s.n.], 2026.
50 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2026.

Orientador: Renato Sussumu Nishioka.

1. Piezocirurgia. 2. Insertos piezoelétricos. 3. Osteotomia. 4. Temperatura. 5. Desgaste. I. Nishioka, Renato Sussumu, orient. II. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. IV. Universidade Estadual Paulista (UNESP). V. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta dissertação apresenta um impacto científico direto na área de Materiais Odontológicos e Cirurgia Bucomaxilofacial ao fornecer dados quantitativos sobre a eficiência de corte, controle térmico e durabilidade estrutural de diferentes insertos piezoelétricos. Os resultados contribuem para o aprimoramento de protocolos clínicos, visando a otimização do tempo cirúrgico e a preservação da vitalidade tecidual. Socialmente, o estudo beneficia o paciente ao validar tecnologias que promovem procedimentos menos invasivos, com menor edema pós-operatório e recuperação mais rápida. Economicamente, a análise do desgaste estrutural dos insertos auxilia cirurgiões e instituições na gestão de custos e na escolha de insumos com melhor custo-benefício e vida útil.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This master's thesis provides a direct scientific impact on the fields of Dental Materials and Oral and Maxillofacial Surgery by delivering quantitative data on the cutting efficiency, thermal control, and structural durability of different piezoelectric inserts. The findings contribute to the refinement of clinical protocols aimed at optimizing surgical time and preserving tissue vitality. Socially, the study benefits patients by validating technologies that promote less invasive procedures, resulting in reduced postoperative edema and faster recovery. Economically, the analysis of the inserts' structural wear assists surgeons and healthcare institutions in cost management and in selecting supplies with superior cost-benefit ratios and extended service life.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Titular Dr. Renato Sussumu Nishioka (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Profa. Dra. Thaís Cachuté Paradella

Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Paulo Sergio Mutarelli

Universidade de São Paulo (USP)

Campus de São Paulo

Departamento de Prótese

São José dos Campos, 26 de fevereiro de 2026.

DEDICATÓRIA

Dedico ao meu tio, Silvio José de Moura (*in memoriam*), que sempre apoiou minhas decisões e, mesmo de longe, foi força constante. Embora sua ausência física marque este momento, sua influência está em cada linha deste trabalho.

Dedico aos meus irmãos, Samia de Moura Gonçalves Leite e Osvaldo Gonçalves Leite Filho, pelo companheirismo e pela compreensão nos dias em que o silêncio e a ausência foram necessários para que este sonho se tornasse realidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Osvaldo Gonçalves Leite e Samira Aparecida de Moura Gonçalves Leite, por me incentivarem diversas vezes onde pensei que não conseguiria. Eles me conduziram a concluir esse objetivo e suportaram minha ausência necessária para que eu estivesse na faculdade e me dedicasse aos estudos.

Agradeço aos meus irmãos, Samia de Moura Gonçalves Leite e Osvaldo Gonçalves Leite Filho, pelo companheirismo e por entenderem os momentos em que precisei estar ausente para realizar o sonho de ser Mestre.

Agradeço à minha noiva, Paula Roberta Pires Miranda, por viver comigo toda essa caminhada, por sonharmos juntos e por ser o incentivo de todos os dias para batalharmos e crescermos um ao lado do outro.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Renato Sussumu Nishioka, pelos ensinamentos, pelas broncas necessárias e pela direção precisa para que eu conseguisse concluir este trabalho.

Agradeço a Robson Roberto da Silva, por me acompanhar durante todo o percurso. Sem ele este trabalho não seria possível, pois esteve presente e ajudou ativamente em todas as etapas desta dissertação.

Agradeço a Sebastião Vagner Aredes, da Delta Life equipamentos médicos hospitalares, pelo suporte fundamental durante o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço aos amigos que fiz durante esse percurso: Leonardo, Lucas, Clarisse, Pollyanna, Carolina e Nathalia. Vocês deixaram tudo mais leve e mais feliz. Obrigado pelas risadas, pela amizade e por tornarem essa trajetória memorável.

"Cerque-se das melhores mentes em seu campo de atuação e você estará destinado ao sucesso". Per-Ingvar Brånemark

RESUMO

Leite SMG. Insertos cirúrgicos piezoelétricos: comparação do tempo de corte, calor gerado e desgaste estrutural por meio de osteotomias em osso bovino [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2026.

A piezocirurgia é uma técnica que possibilita o corte ósseo baseada na utilização de vibrações ultrassônicas, operando em uma faixa de frequência entre 24 kHz e 32 kHz. Essa tecnologia é reconhecida por sua precisão micrométrica e por sua seletividade, atuando apenas em tecidos mineralizados e preservando as estruturas moles adjacentes. Com ampla aplicabilidade na cirurgia odontológica, permite o uso de insertos com geometrias específicas para diferentes tipos de osteotomia. Este estudo teve como objetivo avaliar os insertos piezoelétricos Osteo 1 e Osteo 19S (Helse Ultrasonic, Santa Rosa de Viterbo, SP, Brasil) e o inserto US9 (VV Dental, China), quanto ao tempo necessário para execução das osteotomias, à temperatura gerada durante os cortes e ao desgaste morfológico após o uso. Foram realizadas 40 osteotomias em blocos de osso bovino de origem alimentícia, fixados a um aparelho simulador de corte ósseo, submetidos a uma pressão constante de 400 g, aplicada à caneta piezoelétrica por um sistema mecânico padronizado. Os procedimentos foram conduzidos com o equipamento piezoelétrico Deltalife VR (Delta Life, São José dos Campos, SP, Brasil), operando em sua potência máxima e com irrigação contínua. O tempo de corte foi cronometrado digitalmente e a temperatura foi aferida com termômetro infravermelho, registrando-se o pico térmico e a variação térmica (ΔT). As pontas foram analisadas antes e após os procedimentos com auxílio de estereomicroscópios (Discovery V20 e Stemi 508, Carl Zeiss, SP, Brasil) para avaliação morfológica qualitativa. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e inferencial (Mann-Whitney, $p < 0,05$). Os resultados revelaram que o inserto Osteo 1 apresentou falha catastrófica prematura (fratura) em todas as tentativas, sendo excluído da análise quantitativa. O inserto US9 demonstrou eficiência superior ao Osteo 19s, com menor tempo médio de corte (178,0 s vs. 316,0 s; $p < 0,001$). Quanto ao comportamento térmico, o US9 apresentou maior variação de temperatura ($\Delta T = 2,15^\circ\text{C}$) que o 19s ($\Delta T = 0,90^\circ\text{C}$), embora ambos tenham permanecido dentro dos limites de segurança biológica. A inspeção visual por estereomicroscopia não evidenciou desgastes morfológicos acentuados nas pontas que concluíram o protocolo. Conclui-se que o inserto US9 apresentou melhor desempenho operacional e previsibilidade mecânica sob as condições testadas, enquanto o Osteo 1 mostrou-se inadequado para os parâmetros de carga aplicados.

Palavras-chave: Piezocirurgia; Insertos piezoelétricos; Osteotomia; Temperatura; Desgaste.

ABSTRACT

Leite SMG. Piezoelectric surgical inserts: comparison of cutting time, heat generated, and structural wear through osteotomies in bovine bone [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (UNESP), Institute of Science and Technology; 2026.

Piezosurgery is a bone-cutting technique based on ultrasonic vibrations (24 kHz to 32 kHz), recognized for its micrometric precision and selectivity for mineralized tissues. This study evaluated the performance of Osteo 1 and Osteo 19S (Helse Ultrasonic, Brazil) and US9 (VVDental, China) piezoelectric inserts, analyzing osteotomy time, generated temperature, and morphological wear. Forty osteotomies were performed on bovine bone blocks fixed to a cutting simulator under a constant pressure of 400 g. A Deltalife VR piezoelectric device was used at maximum power with continuous irrigation. Cutting time was digitally recorded, and temperature was measured via an infrared thermometer, recording peak thermal levels and thermal variation (ΔT). The tips were analyzed before and after procedures using stereomicroscopy (Discovery V20 and Stemi 508, Carl Zeiss) for qualitative morphological evaluation. Data were subjected to descriptive and inferential statistical analysis (Mann-Whitney, $p < 0.05$). The results revealed that the Osteo 1 insert presented premature catastrophic failure (fracture between the shaft and the active part) in all initial attempts, even after three replacements by the manufacturer, and was therefore excluded from the quantitative analysis. Among the groups that completed the protocol, the US9 insert demonstrated superior efficiency compared to the Osteo 19s, with a shorter mean execution time (178.0 s vs. 316.0 s; $p < 0.001$). Regarding thermal behavior, the US9 showed a higher temperature variation ($\Delta T = 2.15^\circ\text{C}$) compared to the 19s ($\Delta T = 0.90^\circ\text{C}$; $p < 0.001$), although both remained within biological safety limits, without exceeding the threshold for thermal injury. Qualitative inspection by stereomicroscopy did not show marked morphological wear or significant loss of geometry in the US9 and 19s tips after the twentieth cut. It is concluded that the US9 insert presented the best operational performance and mechanical predictability under the tested load. The Osteo 19s insert proved functional but less efficient, while Osteo 1 proved inadequate for the applied load parameters, showing structural fragility.

Keywords: Piezoelectric Surgery; Piezoelectric Inserts; Osteotomy; Generated Temperature; Structural Wear.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 Osteotomia	13
2.2 O sistema piezoelétrico: princípios e propriedades.....	14
2.3 Aplicações clínicas e limitações do piezoelétrico	17
3 PROPOSIÇÃO	20
3.1 Objetivos	20
3.2 Hipótese.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1 Materiais de consumo.....	21
4.1.1 Equipamentos e instrumentais	21
4.2 Obtenção dos corpos de prova	23
4.2.1 Corte bruto e refinamento dimensional	24
4.3 Osteotomias	27
4.4 Controle de carga aplicada	28
4.5 Controle do tempo cirúrgico	29
4.6 Aferição da temperatura	29
4.7 Análise da Morfologia e Desgaste dos Insertos	30
4.8 Análises estatísticas	31
5 RESULTADOS	32
5.1 Falha catastrófica do inserto Osteo 1	32
5.2 Comportamento térmico.....	33
5.2.1 Tempo de corte.....	35
5.3 Comportamento morfológico dos insertos	37
6 DISCUSSÃO	40
7 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A evolução das técnicas de osteotomia na cirurgia bucomaxilofacial e implantodontia tem buscado, de forma incessante, a tríade entre precisão mecânica, segurança biológica e otimização do tempo cirúrgico. A cicatrização óssea tornou-se um campo de estudo cada vez mais relevante devido às suas importantes implicações clínicas, especialmente no contexto de cirurgias reconstrutivas (Labanca et al., 2008; Stübinger et al., 2015). Tradicionalmente, o uso de instrumentos rotatórios e serras convencionais dominou o cenário clínico; contudo, esses dispositivos apresentam desvantagens críticas, como o sobreaquecimento ósseo, fragmentação do tecido, formação de uma *smear layer* durante o corte e o risco de lesões em tecidos moles adjacentes, o que pode comprometer o sucesso do procedimento (Jiang et al., 2015; Pereira et al., 2014).

Nesse contexto, o sistema piezoelétrico surgiu na década de 1980 como uma inovação disruptiva e uma alternativa mais precisa aos métodos tradicionais. Fundamentada no princípio da microvibração ultrassônica, a piezocirurgia opera com frequências entre 24 kHz e 32 kHz, permitindo cortes micrométricos altamente precisos e seletivos em tecidos mineralizados, enquanto preserva estruturas nobres, como nervos e vasos sanguíneos (Delgado-ruiz et al., 2015; Anesi et al., 2024). Além da segurança aos tecidos moles, a cavitação gerada pelas ondas ultrassônicas auxilia na manutenção de uma área operatória limpa e com menor sangramento, melhorando a visibilidade e favorecendo uma cicatrização acelerada com menor ocorrência de necrose térmica (Noetzel et al., 2019; Carvalho et al., 2016).

O sucesso biológico de qualquer intervenção óssea é regido pela viabilidade celular na interface do corte. O dano térmico é reconhecido como a principal ameaça a esse processo, uma vez que o osso é extremamente sensível a variações de temperatura. Estudos clássicos estabeleceram que a exposição do tecido ósseo a temperaturas iguais ou superiores a 47 °C, por um período de um minuto, desencadeia processos de necrose térmica irreversível e desnaturação da fosfatase alcalina, o que compromete severamente a osseointegração e a reparação tecidual (Eriksson, Albrektsson, 1983). Embora a tecnologia piezoelétrica ajude a controlar o aquecimento, o atrito gerado pela alta frequência dos inserts pode elevar a

temperatura local se parâmetros como carga, tempo de contato e fluxo de irrigação não forem rigorosamente monitorados (Aquilanti et al., 2023).

Apesar das vantagens, a piezocirurgia apresenta limitações, como um tempo cirúrgico potencialmente mais longo e a exigência de uma curva de aprendizado especializada (Alevizakos et al., 2024). A eficiência mecânica dos insertos e sua durabilidade estrutural surgem, portanto, como fatores críticos. A geometria do dente do inserto e a resistência do material de fabricação ditam não apenas a velocidade da osteotomia, mas também a estabilidade térmica. O desgaste das arestas de corte, decorrente do uso repetido em ossos de alta densidade, pode levar a um ciclo perigoso: a perda da capacidade de corte obriga o cirurgião a aplicar maior pressão manual, aumentando a fricção e o risco de superaquecimento ou falha catastrófica do instrumento.

Atualmente, ainda há uma lacuna na compreensão de como diferentes marcas e desenho de insertos se comportam frente ao desgaste e à dissipação de calor sob cargas padronizadas. Diante do exposto, justifica-se a necessidade de estudos experimentais que comparem o desempenho técnico de dispositivos piezoelétricos disponíveis no mercado. O presente estudo tem como objetivo avaliar, por meio de um modelo experimental *in vitro* utilizando osso bovino, o tempo de corte, a variação térmica e a integridade morfológica de diferentes insertos cirúrgicos piezoelétricos, correlacionando o desgaste estrutural com a eficiência e a segurança biológica do procedimento.

7 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que dois insertos cirúrgicos avaliados apresentaram desempenho satisfatório nos cortes em osso bovino utilizando ultrassom cirúrgico. O inserto US9 (VV Dental, China) destacou-se por apresentar os menores tempos de corte, caracterizando-se como o mais rápido, porém associado a valores mais elevados de temperatura. Em contrapartida, o inserto Osteo 19S (Helse Ultrasonic®, Santa Rosa de Viterbo – SP, Brasil) apresentou melhor desempenho térmico, ainda que com tempos de corte superiores, demonstrando maior estabilidade operacional. Não foi possível realizar a avaliação do inserto Osteo 1 devido à ocorrência de falhas catastróficas repetidas, fato que constitui uma limitação do presente estudo.

H0₁ foi rejeitada, uma vez que foram observadas diferenças nos tempos de corte entre os insertos cirúrgicos avaliados, indicando que o tipo de inserto exerce influência significativa no desempenho temporal das osteotomias.

H0₂ foi rejeitada, visto que os resultados demonstraram diferenças na temperatura gerada durante as osteotomias entre os insertos cirúrgicos, evidenciando que cada inserto apresenta comportamento térmico distinto durante o procedimento.

H0₃ foi rejeitada, visto que foram observadas divergências críticas na resistência mecânica e integridade estrutural dos insertos. A ocorrência de fratura em um dos exemplares, em contraste com a continuidade funcional dos demais, evidencia que o modelo do inserto exerce influência na durabilidade e na suscetibilidade a falhas estruturais durante o uso.

REFERÊNCIAS

- Alam K, Ghafoor A, Silberschmidt VV. Analysis of forces and temperatures in conventional and ultrasonically-assisted cutting of bone. In *Modelling of Machining Operations*. 2011. p. 247-254. (Advanced Materials Research). doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.223.247
- Alam K, Khan M, Silberschmidt VV. Analysis of forces in conventional and ultrasonically assisted plane cutting of cortical bone. *Proc Inst Mech Eng H*. 2013;227(6):636-642. doi:10.1177/0954411913485042
- Alevizakos V, Mitov G, Schiller M, Bergmann AL, Theis L, von See C. Comparison of temperature changes in different irrigation methods used in guided piezosurgery: in vitro study. *Oral Maxillofac Surg*. 2024;28(2):653-658. doi:10.1007/s10006-023-01183-1
- Anesi A, Negrello S, Checchi M, Di Bartolomeo M, Salvatori R, Cavani F, et al. Piezosurgery versus reciprocating saw: qualitative comparison of the morphology of cutting surfaces in ex vivo human bone. *Appl Sci*. 2024 Mar 6; 14(5):2203. doi:10.3390/app14052203.
- Aquilanti L, Antognoli L, Rappelli G, Di Felice R, Scalise L. Heat Generation During Initial Osteotomy for Implant Site Preparation: An In Vitro Measurement Study. *J Maxillofac Oral Surg*. 2023;22(2):313-320. doi:10.1007/s12663-022-01800-8
- Arabaci T, Çiçek Y, Canakçı CF. Sonic and ultrasonic scalers in periodontal treatment: a review. *Int J Dent Hyg*. 2007;5(1):2-12. doi:10.1111/j.1601-5037.2007.00217.x
- Bauer SE, Romanos GE. Morphological characteristics of osteotomies using different piezosurgical devices. A scanning electron microscopic evaluation. *Implant Dent*. 2014;23(3):334-342. doi:10.1097/ID.0000000000000077
- Bell WH. Le Forte I osteotomy for correction of maxillary deformities. *J Oral Surg*. 1975;33(6):412-426
- Cardoni A, MacBeath A, Lucas M. Methods for reducing cutting temperature in ultrasonic cutting of bone. *Ultrasonics*. 2006;44 Suppl 1:e37-e42. doi:10.1016/j.ultras.2006.06.046
- Carvalho MAL, Marques G, Trento GDS, Padovan LEM, Klüppel LE. Utilização do sistema piezoelétrico em cirurgias bucais: indicações, vantagens e desvantagens. *J Dent*. 2017; H 8, 13. doi:10.17267/2596-3368dentistry.v8i1.1000.

Chen YL, Chang HH, Chiang YC, Lin CP. Application and development of ultrasonics in dentistry. *J Formos Med Assoc.* 2013;112(11):659-665. doi:10.1016/j.jfma.2013.05.007

Delgado-Ruiz RA, Sacks D, Palermo A, Calvo-Guirado JL, Perez-Albacete C, Romanos GE. Temperature and time variations during osteotomies performed with different piezosurgical devices: an in vitro study. *Clin Oral Implants Res.* 2016;27(9):1137-1143. doi:10.1111/clr.12709

Eggers G, Klein J, Blank J, Hassfeld S. Piezosurgery: an ultrasound device for cutting bone and its use and limitations in maxillofacial surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2004 Oct; 42(5):451–3. doi:10.1016/j.bjoms.2004.04.006.

EL-Hak MNG, Hamed MS, Elswefy AA. Review on evaluation of using piezoelectric ultrasound surgery versus conventional technique in sinus lifting procedure. *J Clin Images Med Case Rep.* 2023 Sept 14; 4(9). doi:10.52768/2766-7820/2590

Eriksson RA, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent.* 1983 July; 50(1):101-7. doi: 10.1016/0022-3913(83)90174-9

Gabrić D, Aumiler D, Vuletić M, et al. Thermal Evaluation by Infrared Thermography Measurement of Osteotomies Performed with Er:YAG Laser, Piezosurgery and Surgical Drill-An Animal Study. *Materials (Basel).* 2021;14(11):3051. Published 2021 Jun 3. doi:10.3390/ma14113051

Harder S, Wolfart S, Mehl C, Kern M. Performance of ultrasonic devices for bone surgery and associated intraosseous temperature development. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2009 May-Jun;24(3):484-90. PMID: 19587871.

Ioannou I, Dimitriadis N, Papadimitriou K, Sakellari D, Vouros I, Konstantinidis A. Hand instrumentation versus ultrasonic debridement in the treatment of chronic periodontitis: a randomized clinical and microbiological trial. *J Clin Periodontol.* 2009 Feb;36(2):132-41. doi:10.1111/j.1600- 051X.2008.01347.x.

Jadid RS, Al-Zahawi AR. In Vitro Comparison of Monolithic Zirconia Crowns: Marginal/Internal Adaptation and 3D-Quantified Preparation Defects Using Air-Driven, Electric-Driven, and Piezoelectric Ultrasonic Handpieces. *Prosthesis.* 2025; 7(4):75. <https://doi.org/10.3390/prosthesis7040075>

Jiang Q, Qiu Y, Yang C, Yang J, Chen M, Zhang Z. Piezoelectric versus conventional rotary techniques for impacted third molar extraction: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Medicine (Baltimore).* 2015 Oct; 94(41):e1685. doi: 10.1097/MD.0000000000001685.

Kawashima H, Sato S, Kishida M, Ito K. A comparison of root surface instrumentation using two piezoelectric ultrasonic scalers and a hand scaler in vivo. *J Periodontal Res.* 2007 Feb;42(1):90-5. doi: 10.1111/j.1600- 0765.2006.00924.x.

Labanca M, Azzola F, Vinci R, Rodella LF. Piezoelectric surgery: twenty years of use. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2008 June; 46(4):265-9. doi: 10.1016/j.bjoms.2007.12.007.

Laird WRE, Walmsley AD. Ultrasound in dentistry. Part 1- biophysical interactions. *J Dent.* 1991;19(1):14-7. doi.org/10.1016/0300-5712(91)90030-3

Lynn JG, Zwemer RL, Chick AJ, Miller AE. A new method for the generation and use of focused ultrasound in experimental biology. *J Gen Physiol.* 1942 Nov 20;26(2):179-93. doi: 10.1085/jgp.26.2.179.

Macedo RG, Verhaagen B, Fernandez Rivas D, et al. Sonochemical and high-speed optical characterization of cavitation generated by an ultrasonically oscillating dental file in root canal models. *Ultrason Sonochem.* 2014;21(1):324-335. doi:10.1016/j.ultsonch.2013.03.001

Marques AC, Nishioka RS. Avaliação da atividade antimicrobiana da cavitação do sistema piezoelétrico sobre *Candida albicans* [Dissertação de Mestrado]. São José dos Campos: Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, 2022.

Narayanan S, Hegde M, Honap M. Evaluation of surface integrity of root end cavities prepared using conventional and piezoelectric devices: A scanning electron microscopy study. *Indian J Dent Res.* 2019; 30(5):772. doi: 10.4103/ijdr.IJDR_237_18.

Noetzel N, Fienitz T, Kreppel M, et al. Osteotomy speed, heat development, and bone structure influence by various piezoelectric systems—an in vitro study. *Clin Oral Invest.* 2019 Mar; 23(11):4029-41. doi:10.1007/s00784-019-02838-8.

Pavlíková G, Foltán R, Horká M, Hanzelka T, Borunská H, Sedý J. Piezosurgery in oral and maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011 May;40(5):451-7. doi: 10.1016/j.ijom.2010.11.013.

Pecheva E, Sammons RL, Walmsley AD. The performance characteristics of a piezoelectric ultrasonic dental scaler. *Medical Engineering & Physics.* 2016 Feb;38(2):199–203. doi: 10.1016/j.medengphy.2015.10.008.

Pereira CC, Gealh WC, Nogueira LM, Garcia Junior IR, Okamoto R. Piezosurgery applied to implant dentistry: clinical and biological aspects. *J Oral Implantol.* 2014 July;40 Spec No:401-8. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00196.

Preti G, Martinasso G, Peirone B, Navone R, Manzella C, Muzio G, et al. Cytokines and growth factors involved in the osseointegration of oral titanium implants positioned using piezoelectric bone surgery versus a drill technique: a pilot study in minipigs. *J Periodontol*. 2007 Apr; 78(4):716-22. doi: 10.1902/jop.2007.060285.

Rickert D, Vissink A, Slater JJ, Meijer HJ, Raghoobar GM. Comparison between conventional and piezoelectric surgical tools for maxillary sinus floor elevation. A randomized controlled clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2013 Apr;15(2):297-302. doi: 10.1111/j.1708-8208.2011.00364.x.

Samico RP, Nishioka RS. Preparos cavitários feitos com piezolétrico associado à insertos de diamante: relação entre a profundidade do preparo e sensibilidade operatória. [Dissertação de Mestrado]. São José dos Campos: Instituto de Ciência e Tecnologia - UNESP, 2021.

Seshan H, Konuganti K, Zope S. Piezosurgery in periodontology and oral implantology. *J Indian Soc Periodontol*. 2009 Sep;13(3):155-6. doi: 10.4103/0972-124X.60229.

Singh RP, Pandey PM, Behera C, Mridha AR. Effects of rotary ultrasonic bone drilling on cutting force and temperature in the human bones. *Proc Inst Mech Eng H*. 2020 June 3;234(8):829–42. doi: 10.1177/0954411920925254.

Stübinger S, Landes C, Seitz O, Zeilhofer HF, Sader R. [Ultrasonic bone cutting in oral surgery: a review of 60 cases]. *Ultraschall Med*. 2008 Feb; 29(1):66-71. German. doi: 10.1055/s-2007-963507.

Stübinger S, Stricker A, Berg BI. Piezosurgery in implant dentistry. *Clin Cosmet Investig Dent*. 2015 Nov; 7:115-24. doi:10.2147/ccide.s63466.

Trauner R, Obwegeser H. The surgical correction of mandibular prognathism and retrognathia with consideration of genioplasty. I. Surgical procedures to correct mandibular prognathism and reshaping of the chin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1957 Jul; 10(7):677-89. doi:10.1016/S0030-4220(57)80063-2.

Troedhan A, Mahmoud ZT, Wainwright M, Khamis MM. Cutting bone with drills, burs, lasers and piezotomes: a comprehensive systematic review and recommendations for the clinician. *Int J Oral Craniofac Sci*. 2017 Aug; 3(2):20-33. doi:10.17352/2455-4634-000028.

Vercellotti T. Technological characteristics and clinical indications of piezoelectric bone surgery. *Minerva Stomatol*. 2004 May;53(5):207-14. English, Italian. PMID: 15263877.

Vercruyssen M, Cox C, Coucke W, Naert I, Jacobs R, Teughels W, Quirynen M. Accuracy and patient-centered outcome variables in guided implant surgery: a RCT

comparing guided surgery with conventional implant placement. *Clin Oral Implants Res.* 2015 Mar; 26(3):274-9. doi: 10.1111/clr.12583.

Verhaagen B, Boutsoukis C, van der Sluis LW, Versluis M. Acoustic streaming induced by an ultrasonically oscillating endodontic file. *J Acoust Soc Am.* 2014 Apr;135(4):1717-30. doi: 10.1121/1.4868397.

Vyas N, Dehghani H, Sammons RL, Wang QX, Leppinen DM, Walmsley AD. Imaging and analysis of individual cavitation microbubbles around dental ultrasonic scalers. *Ultrasonics.* 2017 Nov;81:66-72. doi: 10.1016/j.ultras.2017.05.015.

Vyas N, Pecheva E, Dehghani H, Sammons RL, Wang QX, Leppinen DM, Walmsley AD. High Speed Imaging of Cavitation around Dental Ultrasonic Scaler Tips. *PLoS One.* 2016 Mar 2;11(3):e0149804. doi: 10.1371/journal.pone.0149804.

Wang Z, Bi X, Xiang R, Chen L, Feng X, Zhou M, Che Z. Inactivation of *Escherichia coli* by Ultrasound Combined with Nisin. *J Food Prot.* 2018 Jun;81(6):993-1000. doi: 10.4315/0362-028X.JFP-18-023.