

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ODONTOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA**

**Breno Fortes Bittar**

**Avaliação *ex-vivo* da microarquitetura óssea peri-implantar por meio de micro tomografia computadorizada ( $\mu$ CT): comparação entre as técnicas de fresagem convencional e osseodensificação**

Juiz de Fora

2024

**Breno Fortes Bittar**

Avaliação *ex-vivo* da microarquitetura óssea peri-implantar por meio de micro tomografia computadorizada ( $\mu$ CT): comparação entre as técnicas de fresagem convencional e osseodensificação

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Odontologia.  
Área de concentração: Clínica Odontológica

Orientador: Prof. Dr. Bruno Salles Sotto-Maior

Juiz de Fora

2024

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Bittar, Breno Fortes.

Avaliação ex-vivo da microarquitetura óssea peri-implantar por meio de micro tomografia computadorizada ( $\mu$ CT): comparação entre as técnicas de fresagem convencional e osseodensificação / Breno Fortes Bittar. -- 2024.

48 f. : il.

Orientador: Bruno Salles Sotto-Maior

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Odontologia. Programa de Pós-Graduação em Clínica Odontológica, 2024.

1. implante dental. 2. osseodensificação. 3. micro tomografia . I. Sotto-Maior, Bruno Salles , orient. II. Título.]

## **Breno Fortes Bittar**

Avaliação *ex-vivo* da microarquitetura óssea peri-implantar por meio de micro tomografia computadorizada ( $\mu$ CT): comparação entre as técnicas de fresagem convencional e osseodensificação

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Odontologia. Área de concentração: Clínica Odontológica

Aprovada em 13 de março de 2024

### **BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Dr. Bruno Salles Sotto Maior - Orientador e Presidente da Banca**  
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Neuza Maria Souza Picorelli Assis - Membro titular interno**  
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Karina Lopes Devito - Membro titular interno**  
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF

**Prof. Dr. Gustavo Davi Rabelo - Membro titular externo**  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Augusta Visconti Rocha Pinto - Membro titular externo**  
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Juiz de Fora, 22/02/2024.



Documento assinado eletronicamente por **Bruno Salles Sotto Maior, Professor(a)**, em 13/03/2024, às 10:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karina Lopes Devito, Professor(a)**, em 13/03/2024, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Neuza Maria Souza Picorelli Assis, Usuário Externo**, em 13/03/2024, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Davi Rabelo, Usuário Externo**, em 13/03/2024, às 10:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Augusta Visconti Rocha Pinto, Usuário Externo**, em 13/03/2024, às 10:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-U f ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1715531** e o código CRC **BDC1562A**.

## DEDICATÓRIA

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Ricardo e Emília (*in memoriam*). Aos meus irmãos, Renato e Thaís. Aos meus sobrinhos, Ricardo e Eduardo. À minha esposa, Paula, cujo constante apoio sempre me motivou a buscar o melhor de mim. Aos meus filhos, Beatriz e Rafael, que enchem nossa família de alegria e amor.

## **AGRADECIMENTOS**

À professora Dr<sup>a</sup>. Neuza Maria Souza Picorelli Assis e ao professor Dr. Bruno Salles Sotto-Maior, meus orientadores, pela confiança, oportunidade e incentivo para a realização deste estudo.

À professora Dr<sup>a</sup>. Karina Devito, pelo incentivo e revisão do trabalho.

Ao professor Dr. Gustavo Davi Rabelo, pela contribuição fundamental para a execução e publicação desta pesquisa.

À Valéria Cristina Loureiro de Vasconcellos e Leticia Barbosa Gonçalves, funcionárias da Secretaria de Pós-graduação pela paciência e disponibilidade.

Aos professores Dr. Ricardo Tadeu Lopes e Dr<sup>a</sup>. Alessandra Silveira Machado do Laboratório de Instrumentação Nuclear – COPPE/UFRJ pela realização das aquisições e análises micro tomográficas.

Aos membros da banca examinadora, pelas sugestões e correções do trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Clínica Odontológica da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Ao Programa de Pós-Graduação em Clínica Odontológica da Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

À Faculdade de Odontologia da Universidade Federal de Juiz de Fora.

*“Deus quer, o homem sonha, a obra nasce”*

(Fernando Pessoa)

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o torque de inserção (TI), quociente de estabilidade do implante (QEP) e a microarquitetura óssea peri-implantar, comparando a técnica de fresagem convencional (CT) com a osseodensificação (OD). Para isso, implantes (3,5x8,5 mm) foram instalados em fragmentos ósseos da tíbia de porcos (n=12), divididos em dois grupos: CT (n=6) e OD (n=6). Após o procedimento de instalação dos implantes, o torque de inserção e o quociente de estabilidade do implante foram aferidos por meio de um torquímetro digital e análise de frequência de ressonância. Em seguida, os fragmentos ósseos contendo os implantes foram removidos com uma trefina e analisados por micro tomografia ( $\mu$ CT, 8,0  $\mu$ m). A comparação entre os grupos foi realizada usando o teste-t não pareado ( $\alpha=0,05$ ). Os resultados mostraram que a técnica de osseodensificação promove um TI significativamente maior (CT:  $7,67\pm 2,44$  Ncm; OD:  $19,78\pm 5,26$  Ncm) ( $p=0,0005$ ), embora o QEP não tenha sido diferente (CT:  $61,33\pm 4,66$ ; OD:  $63,25\pm 4,58$ ) ( $p=0,48$ ). Houve um aumento significativo no volume ósseo peri-implante (CT:  $23,17\pm 3,39$  mm<sup>3</sup>; OD:  $32,01\pm 5,75$  mm<sup>3</sup>) ( $p=0,008$ ) e nos parâmetros trabeculares: espaçamento entre as trabéculas (CT:  $0,4357\pm 0,03$  mm; OD:  $0,3865\pm 0,04$  mm) ( $p=0,0449$ ), número de trabéculas (CT:  $1,626\pm 0,18$  1/mm; OD:  $1,946\pm 0,13$  1/mm) ( $p=0,007$ ) e espessura das trabéculas (CT:  $0,1130\pm 0,009$  mm; OD:  $0,1328\pm 0,015$  mm) ( $p=0,02$ ). Os dados do índice do modelo de estrutura (IME) não demonstraram diferenças significativas entre os grupos (CT:  $1,7\pm 0,2$ ; OD:  $1,4\pm 0,4$ ) ( $p=0,12$ ). Em conclusão, a técnica de osseodensificação aumenta os valores de torque de inserção e promove alterações benéficas na microarquitetura óssea em comparação com a CT.

Palavras chaves: implante dental; osseodensificação; micro tomografia

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the insertion torque (IT), implant stability quotient (ISQ) and the peri-implant bone microarchitecture, comparing the conventional drilling technique (CT) with osseodensification (OD). For this, implants (3.5x8.5 mm) were installed in bone fragments from the tibia of pigs (n=12), divided into two groups: CT (n=6) and OD (n=6). After the implant installation procedure, the IT and ISQ were measured using a digital torque meter and resonance frequency analysis. The bone fragments containing the implants were then extracted with a trephine and analyzed using Microtomography ( $\mu$ CT, 8.0  $\mu$ m). Group comparison was conducted using the unpaired t-test ( $\alpha=0.05$ ). The results demonstrated that OD led to significantly higher insertion torque (CT:  $7.67\pm 2.44$  Ncm; OD:  $19.78\pm 5.26$  Ncm) ( $p=0.0005$ ), while ISQ showed no significant difference (CT:  $61.33\pm 4.66$ ; OD:  $63.25\pm 4.58$ ) ( $p=0.48$ ). Notably, peri-implant bone volume increased significantly with OD (CT:  $23.17\pm 3.39$  mm<sup>3</sup>; OD:  $32.01\pm 5.75$  mm<sup>3</sup>) ( $p=0.008$ ), along with changes in trabecular parameters: trabecular separation (CT:  $0.4357\pm 0.03$  mm; OD:  $0.3865\pm 0.04$  mm) ( $p=0.0449$ ), trabecular number (CT:  $1.626\pm 0.18$  1/mm; OD:  $1.946\pm 0.13$  1/mm) ( $p=0.007$ ), and trabecular thickness (CT:  $0.1130\pm 0.009$  mm; OD:  $0.1328\pm 0.015$  mm) ( $p=0.02$ ). Structure model index (SMI) data showed no significant differences between groups (CT:  $1.7\pm 0.2$ ; OD:  $1.4\pm 0.4$ ) ( $p=0.12$ ). In conclusion, OD increases insertion torque values and induces positive changes in bone microarchitecture compared to CT.

Key Word: dental implant; osseodensification; micro tomography

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - (A) Segmento ósseo. (B) Dimensão do fragmento ósseo .....	31
<b>Figura 2</b> - (A) Fresas S.I.N (B) Fresas Versah Densah (C) Implante Epikut (S.I.N) .....	32
<b>Figura 3</b> - Equipamento Osstell® Mentor (B) Análise de frequência de ressonância com SmartPeg tipo 53 acoplado ao implante (C) Aferição do torque de inserção .....	33
<b>Figura 4</b> - (A) Remoção de fragmento ósseo com trefina (B) Amostra .....	34
<b>Figura 5</b> - (A) Micro tomógrafo Bruker High Energy SkyScan 1273 (B) Amostra posicionada no micro tomógrafo .....	35
<b>Figura 6</b> - (A) Dimensão da VOI (B) Corte em região mais apical mostrando VOI ajustada ao corpo irregular do implante .....	36
<b>Figura 7</b> - Representação gráfica 3D do volume de interesse analisado (em verde) .....	36
<b>Figura 8</b> - VOI binarizada .....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Valores de média $\pm$ desvio padrão referentes a torque de inserção e quociente de estabilidade primária .....	39
<b>Tabela 2</b> - Valores micromorfométricos relativos à arquitetura óssea .....	39

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IT – Torque de inserção do implante

ISQ – Quociente de estabilidade do implante

$\mu$ CT – Micro tomografia computadorizada

SMI – Índice do modelo de estrutura

kHz – Quilohertz

kV – Quilovolt

$\mu$ A – Micro ampere

cm – Centímetros

mm – Milímetros

ml – Mililitros

$\mu$ m – Micrômetro

ROI – Região de interesse

VOI – Volume de interesse

3D – Tridimensional

Tb.N – Número de trabéculas

Tb.Sp – Espaçamento entre trabéculas

Tb.Th – Espessura das trabéculas

Po.V(tot) – Volume de porosidade total

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	19
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	20
3.1 ANÁLISES HISTOLÓGICAS E HISTOMORFOMÉTRICAS .....	22
3.2 ESTABILIDADE PRIMÁRIA.....	25
3.3 MICRO TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA .....	28
3.4 APLICAÇÕES CLÍNICAS .....	29
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	31
4.1 PREPARO DAS AMOSTRAS.....	31
4.2 FRESAGENS E AFERIÇÃO DA ESTABILIDADE PRIMÁRIA DOS IMPLANTES .....	32
4.3 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE MICRO TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA ....	34
4.4 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS IMAGENS DE MICRO TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA.....	35
4.4.1 Definição do volume de interesse (VOI) .....	35
4.4.2 Binarização do VOI .....	36
<b>5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS</b> .....	38
<b>6 RESULTADOS</b> .....	39

6.1 TORQUE DE INSERÇÃO E QUOCIENTE DE ESTABILIDADE PRIMÁRIA .....	39
6.2 AVALIAÇÃO DO VOLUME ÓSSEO .....	39
<b>7 DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>8 CONCLUSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os implantes dentários revolucionaram a reabilitação oral, apresentando altas taxas de sucesso, superiores a 90%. Atualmente, a ausência de um elemento dental pode ser corrigida de forma altamente previsível (BETTACH *et al.*, 2023; PADHYE; PADHYE; BHATAVADEKAR, 2020). Embora os implantes e protocolos cirúrgicos tenham evoluído significativamente nos últimos anos, a osseointegração rápida e duradoura continua sendo o principal objetivo. A osseointegração é definida como a conexão estrutural e funcional entre um osso saudável e a superfície de um implante, determinando uma relação de anquilose entre essas duas superfícies (ALIFARAG *et al.*, 2018; EL-KHOLEY *et al.*, 2017; HUWAIS; MEYER, 2017; INCHINGOLO *et al.*, 2021).

A estabilidade de um implante pode ser classificada como primária, caracterizada pelo travamento mecânico do implante nas paredes do alvéolo cirúrgico durante a inserção; e secundária, resultante da osseointegração (GANDHI; PADHYE, 2023; LAHENS *et al.*, 2016). A estabilidade primária, que é considerada um fator chave para o sucesso do tratamento (BLANCO *et al.*, 2011; SEO *et al.*, 2022), pode ser influenciada por diversos fatores como a quantidade e densidade óssea, macro e micro geometria do implante e a técnica de fresagem (COHEN *et al.*, 2016; HUWAIS; MEYER, 2017; PIKOS; MIRON, 2019). A técnica cirúrgica deve proporcionar estabilidade mecânica inicial ao implante, necessária para o início do processo de osseointegração (STOCCHERO *et al.*, 2019), e seu objetivo é alcançado quando a micro movimentação do implante é limitada a menos de 50-150  $\mu\text{m}$  até que a osseointegração ocorra (ALTHOBAITI *et al.*, 2023; SLETE; OLIN; PRASAD, 2018).

Na prática clínica, a mensuração da estabilidade primária do implante é utilizada como um indicador indireto do sucesso da osseointegração. Devido a importância clínica deste indicador, vários métodos foram desenvolvidos para quantificar esse parâmetro. Nos últimos anos, a análise de frequência de ressonância se tornou um dos métodos mais utilizados. Este método consiste em medir a resposta a um estímulo vibratório senoidal na faixa de frequência de 5-15 kHz, por meio de um acessório denominado SmartPeg, conectado ao implante. A análise dessa resposta, expressa em um intervalo de 0 a 100, é chamada de quociente de estabilidade primária (HUANG; WU; HUNZIKER, 2020).

Em 1985, Lekholm e Zarb propuseram uma classificação de densidade óssea (D1-D4) baseado em aspectos macroscópicos da região cortical e trabecular, sendo a D1 a mais mineralizada e a D4, a de menor densidade (SHEMTOV-YONA, 2021). Várias técnicas cirúrgicas são utilizadas para o aumento da estabilidade primária em ossos tipo D3 e D4, tais como a ancoragem bi cortical, uso de osteótomos para compactação óssea e sub fresagem (BLANCO *et al.*, 2011; MOON *et al.*, 2010). Em ossos tipo D4, presente sobretudo na região posterior da maxila, a obtenção de uma estabilidade primária satisfatória é dificultada pela baixa densidade óssea ao redor dos implantes, elevando o risco de falhas prematuras. Além disso, uma quantidade óssea insuficiente ao redor do implante pode afetar negativamente parâmetros histomorfométricos como a fração de volume ósseo e a porcentagem de contato osso-implante (PADHYE; PADHYE; BHATAVADEKAR, 2020; TRISI *et al.*, 2016). Esses parâmetros são considerados um requisito essencial para a estabilidade do implante e um indicativo de sucesso na osseointegração (FOLKMAN *et al.*, 2020; GAIKWAD; JOSHI; NADGERE, 2022).

Associar o design do implante e técnica de fresagem cirúrgica para o alto grau de travamento primário e baixo nível de estresse de compressão é primordial para estabilidade do implante nos estágios iniciais da osseointegração (CAMPOS *et al.*, 2012). A técnica convencional de fresagem consiste no uso de fresas helicoidais com diâmetros progressivos girando em sentido horário sob constante irrigação (TRETTO *et al.*, 2019). Um novo método de fresagem foi sugerido a fim de se melhorar a estabilidade primária dos implantes instalados em regiões de baixa densidade óssea (LAHENS *et al.*, 2019). A osseodensificação, técnica desenvolvida por HUWAIS e MEYER (2017), é fundamentada no uso de fresas especialmente desenhadas para aumentar a densidade óssea por meio da condensação lateral do osso das paredes do leito cirúrgico (ALMUTAIRI; WALID; ALKHODARY, 2018; PAI *et al.*, 2018)

A microarquitetura trabecular e cortical óssea podem ser avaliadas por meio de microtomografia computadorizada ( $\mu$ CT) (BOUXSEIN *et al.*, 2010). A  $\mu$ CT é utilizada para avaliar características morfométricas em três dimensões, como alternativa à análise histológica convencional bidimensional. Seu uso permite uma análise mais representativa, uma vez que a preparação das amostras para estudo histológico é destrutiva, de alto custo e limitado a um ou dois cortes, limitando a obtenção de dados (IRIE *et al.*, 2018; VANDEWEGHE *et*

*al.*, 2013). A análise histomorfométrica de fração de volume ósseo já mostrou alta correlação entre análises realizadas com cortes histológicos e  $\mu$ CT (SONG *et al.*, 2013).

A literatura científica acerca da osseodensificação mostra que esta técnica apresenta excelentes resultados tanto no aumento do contato osso-implante quanto no aumento da estabilidade primária em ossos de baixa densidade (FONTES PEREIRA *et al.*, 2023; GAIKWAD; JOSHI; NADGERE, 2022; POTDUKHE; IYER; NADGERE, 2023). É importante o conhecimento das diversas estratégias para melhorar a qualidade óssea para obtenção do adequado travamento do implante. A hipótese nula deste estudo é que a técnica de osseodensificação não é diferente da técnica convencional no que diz respeito à microarquitetura óssea trabecular e à estabilidade primária do implante. Entretanto, não há na literatura, até o presente momento, um estudo que avalie por meio de  $\mu$ CT se o volume ósseo se altera quando a técnica de osseodensificação é empregada. Desta forma, o objetivo deste estudo é comparar, por meio da  $\mu$ CT, em modelos *ex-vivos*, aspectos micromorfométricos do osso adjacente à região preparada para a instalação de implantes e analisar o torque de inserção e o quociente de estabilidade primária de implantes instalados utilizando-se a técnica de fresagem convencional e a osseodensificação

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo deste estudo foi comparar, por meio da  $\mu$ CT, em modelos *ex-vivos*, aspectos micromorfométricos do osso adjacente à região preparada para a instalação de implantes. Além disso, foram analisados o torque de inserção (IT) e o quociente de estabilidade primária (ISQ) de implantes instalados utilizando-se a técnica de fresagem convencional e a osseodensificação.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Quantificar a diferença entre o volume ósseo peri-implantar (BV), número de trabéculas (Tb.N), espessura (Tb.Th) e espaçamento entre as trabéculas ósseas (Tb.Sp) quando utilizadas a técnica de fresagem convencional e a osseodensificação.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Dois fatores frequentemente relacionados à osseointegração são: o contato direto osso-implante em nível microscópico e a quantidade e qualidade óssea na interface desse com o implante. Alta estabilidade primária e manutenção do volume mineral e de colágeno aceleram o processo cicatricial, portanto, a manutenção deste volume e das estruturas histológicas durante a osteotomia são importantes para o sucesso dos implantes (HUWAIS; MEYER, 2017).

Várias técnicas foram propostas para diminuir a remoção desnecessária de osso durante a osteotomia. A técnica de subfresagem, que consiste em instalar o implante em alvéolos cirúrgicos com menor diâmetro que o preconizado pela técnica convencional, se mostrou capaz de aumentar a fixação precoce de implantes tanto em estudos clínicos como em estudos histológicos (SHALABI *et al.*, 2007), entretanto esse fato não se traduziu em aumento direto do contato osso-implante nem em melhorias de processo cicatricial (TABASSUM *et al.*, 2014). A compactação óssea por meio do uso de osteótomos foi desenvolvido por Summers (1994) para aumentar a estabilidade primária sem subtração óssea, contudo essa técnica não aumenta a densidade óssea peri-implantar e o trabeculado ósseo fraturado ao redor do implante induz atraso na osseointegração. Além disso, a necessidade de uso de martelo cirúrgico para o avanço dos osteótomos pode provocar fraturas não intencionais e desconforto ao paciente (HUWAIS, 2013; TRISI *et al.*, 2016). A expansão crestal utilizando expansores rosqueáveis é uma técnica que dilata a osteotomia por meio do deslocamento ósseo, contudo fraturas podem prejudicar a estabilidade primária (CORTES; CORTES, 2010; LEE; ANITUA, 2006).

Uma nova técnica para preservação e compactação óssea – a osseodensificação – foi apresentada recentemente. A osseodensificação supera as desvantagens e deficiências das técnicas anteriormente descritas oferecendo uma alternativa atraumática. Este método, que utiliza fresas próprias, promove uma expansão de uma osteotomia de forma eficiente, altamente controlável e relativamente rápida (HUWAIS, 2013; HUWAIS; MEYER, 2017).

A teoria na qual essa técnica se baseia é que o design das fresas utilizadas permitem a criação de um ambiente que aumenta a estabilidade primária por meio da densificação das paredes da osteotomia. A justificativa para a utilização dessa técnica é que a densificação do osso em contato com o implante não apenas resulta em maiores valores

de estabilidade primária, devido ao maior contato osso-implante, mas também em aumento na velocidade de neoformação no osso instrumentado. Desta forma, a osseodensificação tem como objetivo realizar um enxerto autógeno condensado ao redor do implante (LAHENS *et al.*, 2016).

Diferentemente do processo de fresagem convencional, que utiliza fresas com ângulo de hélice positivo para remover uma pequena espessura de tecido ósseo ao contato de cada lâmina nas paredes da osteotomia, o processo de osseodensificação utiliza uma fresa com múltiplas ranhuras que apresentam lâminas com um ângulo de hélice negativo, que funcionam como arestas sem corte, aumentando a densidade óssea à medida que expandem a osteotomia. Essas fresas apresentam quatro ou mais lâminas e depressões que compactam o osso de forma suave. Dessa forma, à medida que se aprofundam, a osteotomia aumenta em diâmetro, controlando a expansão do alvéolo (HUWAIS; MEYER, 2017; LAHENS *et al.*, 2016).

Para o desenvolvimento e estudo da técnica, Huwais e Meyer (2017) prepararam um total de 72 osteotomias em 12 platôs tibiais de porcos *ex vivo*. Aproximadamente 15 mm da superfície articular e osso sub condral foi removida para a exposição do trabeculado ósseo. As osteotomias do grupo controle foram preparadas utilizando-se fresas disponíveis comercialmente, seguindo protocolo de fresagem padrão, com cinco passos, iniciando-se com a fresa lança ( $\emptyset 1,7$ ), seguida pela fresas helicoidais  $\emptyset 2,2$ ,  $\emptyset 3,2$ ,  $\emptyset 4,2$  e  $\emptyset 5,2$ . Os dois grupos experimentais foram preparados utilizando-se as fresas para osseodensificação (Densah Burs – Versah, LCC, Jackson, MI) com diâmetros de  $\emptyset 2,8$ ,  $\emptyset 3,8$ ,  $\emptyset 4,8$  e  $\emptyset 5,8$ , sendo que no primeiro grupo as fresas foram utilizadas da maneira convencional e, no segundo, as osteotomias foram preparadas com as fresas girando em sentido anti-horário, de forma a promover a osseodensificação. Dois conjuntos de três osteotomias (anterior, central e posterior) correspondentes aos grupos estudados foram preparadas em cada espécime. Após o terceiro passo da técnica cirúrgica, um implante de 4,1x11mm foi inserido e removido, aferindo-se o torque de inserção e remoção. Em seguida, os passos subsequentes da osteotomia eram retomados e instalado o implante de 6,0x11mm, seguida da mensuração da estabilidade biomecânica. A estabilidade primária dos implantes 4,1x11 e 6,0x11 foi comparada entre os grupos. O estudo confirmou a hipótese de que a osseodensificação aumentaria a estabilidade primária, e a porcentagem de osso em contato com a superfície do implante. A osseodensificação, mostrou ainda, aumento do torque de

inserção e remoção de implantes quando comparado com a técnica de fresagem convencional. Além disso, a técnica se mostrou tão segura quanto à técnica convencional.

### 3.1 ANÁLISES HISTOLÓGICAS E HISTOMORFOMÉTRICAS

Trisi *et al.* (2016) avaliaram a técnica de osseodensificação instalando 10 implantes nas cristas ilíacas de duas ovelhas. No lado esquerdo foram instalados os implantes utilizando-se a fresagem convencional (grupo controle) conforme recomendações do fabricante e no lado direito, utilizando-se a técnica de osseodensificação (Densah Burs – Versah, LCC, Jackson, MI) (grupo teste), seguindo o protocolo: fresa piloto 2mm, VT1828, VT2838 e VT3848, em sentido de rotação anti-horário. No grupo controle foram observadas finas camadas de osso recém-formado recobrimdo os implantes, assim como trabéculas ósseas fraturadas. Neoformação óssea foi observada unindo as trabéculas ósseas fraturadas a fragmentos ósseos e/ou à superfície do implante. Algumas lascas de osso foram encontradas na interface implante/osso. Um processo de remodelação óssea, envolvendo osteóides e reabsorção óssea foi evidente, contudo, em menor quantidade em relação ao grupo teste. No grupo teste foi observado um aumento de espessura na crista óssea na região coronal. O osso, nesta região, apresentava cavidades medulares circulares ou elipsoides revestidas por uma camada de osteóides com osteoblastos ativos. Nessa região, o trabeculado ósseo apresentava o aspecto incomum também na região adjacente à osteotomia, enquanto na porção voltada para a cortical óssea existia a presença de camadas de osso lamelar. O trabeculado ósseo se tornou mais espesso devido a incorporação de fragmentos ósseos autógenos durante o processo de cicatrização. Os resultados histomorfométricos revelaram que o contato osso-implante foi igual em ambos os grupos, contudo o volume ósseo no grupo de teste mostrou um aumento na densidade óssea de aproximadamente 30%.

Alifarag *et al.* (2018) avaliaram a influência da macro geometria e técnica de fresagem na osseointegração, utilizando dois tipos experimentais de implantes, sendo um com arquitetura porosa. Neste estudo, os autores utilizaram seis ovelhas, instalando seis implantes em cada osso ilíaco. Foram utilizadas a fresagem convencional (R), seguindo a sequência recomendada para ossos de baixa densidade da *Zimmer Biomet*; a fresagem em sentido horário (CW) e em sentido anti-horário (CCW), com fresas para osseodensificação (Densah Burs – Versah, LCC, Jackson, MI). O torque de inserção foi aferido com um

torquímetro digital (Tonichi STC2-G, Tonishi, Japan). Em metade dos implantes foi aferido o torque de remoção enquanto a outra metade foi submetida a avaliações histológicas. As análises histomorfométricas mostraram que, baseados na relação de contato osso-implante, não houve diferenças significativas com relação ao tipo de implante utilizado. Contudo, a relação de contato osso-implante relacionado à técnica de fresagem se mostrou estatisticamente diferente entre os grupos CCW e R ( $p=0,037$ ) e entre os grupos CW e R ( $p=0,005$ ). Os grupos CW e CCW não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ( $p>0,05$ ). A análise histológica mostrou que o mecanismo de cicatrização óssea foi diferente em relação à macro geometria dos implantes. Devido à estrutura porosa de um dos implantes utilizados, enquanto remanescentes ósseos facilitavam a união entre o osso e o espaço entre o implante, os remanescentes ósseos presentes na região porosa agiam como áreas de deposição óssea dos osteoblastos. Independentemente do tipo de implante, as amostras fresadas pela técnica CCW e CW mostravam mais tecido ósseo circundando os implantes que no grupo R.

Oliveira *et al.* (2018) estudaram a influência da osseodensificação na estabilidade primária e progresso da osseointegração (3 semanas e 6 semanas) utilizando-se implantes sem tratamento de superfície e em implantes com superfície tratada (jateamento com óxido de alumínio e duplo condicionamento ácido). Um total de 60 implantes cônicos foram utilizados, sendo instalados bilateralmente no osso ilíaco de 5 ovelhas. Três diferentes técnicas de osteotomia foram utilizadas: (i) fresagem convencional (piloto 2mm, 3,2mm e 3,8mm); (ii) fresagem com fresas para osseodensificação em rotação em sentido horário (piloto 2mm, 2,8mm e 3,8mm) e (iii) fresas para osseodensificação em rotação em sentido anti-horário (piloto 2mm, 2,8mm e 3,8mm). A avaliação do contato osso-implante em relação ao tempo não mostrou diferenças estatisticamente significativas. Com relação ao tratamento de superfície, o contato osso-implante foi significativamente maior no grupo que sofreu tratamento de superfície. Quando se avalia o tratamento de superfície e técnica de fresagem com relação ao tempo, o grupo que teve a superfície tratada apresentou contato osso-implante significativamente maior.

Slete; Olin e Prasad (2018) avaliaram, por meio de análises histológicas, o contato osso-implante, densidade óssea, porcentagem do volume ósseo ao redor do implante imediatamente após sua instalação e integridade do trabeculado utilizando três técnicas de osteotomia: convencional, osteotomia de Summers e osseodensificação. No estudo foram

realizadas 18 osteotomias (n=6) em tíbias de porcos. No grupo no qual foi realizada a osteotomia convencional, foram utilizadas fresas comercialmente disponíveis seguindo as recomendações do fabricante. Nas osteotomias preparadas com os osteótomos de Summers, a perfuração inicial foi feita com a fresa piloto (1,7mm) seguida pela sequência de osteótomos. A osseodensificação foi iniciada com a fresa piloto (1,7mm) seguida pelas fresas específicas preconizada pela técnica. Após as osteotomias e instalação dos implantes, os espécimes foram preparados para a confecção de lâminas histológicas e então, foram realizadas análises histomorfométricas. A análise dos resultados histomorfométricos mostrou que a técnica de osseodensificação produziu um maior contato osso-implante que as outras técnicas, além disso, foi verificado uma maior porcentagem de volume ósseo ao redor do implante. A técnica de osseodensificação também foi responsável por uma maior quantidade e integridade do osso trabecular ao redor do implante, tanto lateralmente quanto apicalmente. O aspecto do osso trabecular se apresentava visivelmente mais intacto, denso e mais bem distribuído que o observado nas outras técnicas utilizadas neste estudo.

Witek *et al.* (2019) avaliaram qualitativa e quantitativamente os efeitos da técnica de preparo da osteotomia, convencional ou osseodensificação no processo cicatricial ósseo. Para a realização desse estudo, foram realizadas 15 osteotomias no osso íliaco de 5 ovelhas. Em cada animal foram realizadas três técnicas de instrumentação: convencional; osseodensificação com as fresas em sentido horário de rotação; e osseodensificação com as fresas em sentido anti-horário de rotação. Os animais foram sacrificados após 6 semanas, e lâminas histológicas foram preparadas. A análise histológica mostrou remodelação e neoformação óssea em todas as amostras, independente da técnica empregada, com a presença de fragmentos de osso observadas ao longo do comprimento das paredes da osteotomia preparadas pela técnica da osseodensificação.

Gaikwad; Joshi e Nadgere (2022) realizaram uma revisão sistemática com meta-análise com objetivo de investigar os efeitos biomecânicos e histomorfométricos de implantes instalados pela técnica da osseodensificação em modelos animais. As buscas foram realizadas independentemente pelos autores nas bases de dados Medline/PubMed, Lilacs e Science Direct. Além disso, foram feitas buscas manuais em periódicos revisados por pares nas áreas de implantodontia, periodontia, prótese dentária e cirurgia maxilo facial. Os resultados utilizados para a meta-análise foram o torque de inserção primário,

porcentagem de contato osso-implante e porcentagem do volume ósseo ao redor do implante em fresagens convencionais e osseodensificação. Do total de 258 estudos, 14 foram selecionados para análise completa. Desses, 5 foram excluídos por não se enquadrarem nos critérios de inclusão. Os estudos selecionados contaram com 386 implantes, sendo que em oito foram realizados em crista ilíaca ou vértebra de ovelhas e um em mandíbula de porcos. Os resultados indicaram que implantes instalados pela técnica de osseodensificação apresentaram maior torque de inserção e, conseqüentemente, maior estabilidade primária quando comparados à implantes instalados pela técnica de fresagem convencional. Além disso, com três e seis semanas, os implantes instalados com a técnica de osseodensificação apresentaram contato osso-implante e porcentagem do volume ósseo ao redor do implante maiores, sugerindo um grau maior de osseointegração.

### 3.2 ESTABILIDADE PRIMÁRIA

Campos *et al.* (2012) avaliaram a influência do diâmetro da osteotomia no torque de inserção e nos estágios iniciais da osseointegração. Para isso, instalaram e aferiram o torque de inserção de trinta e seis implantes (4,0 mm x 10 mm) nos ossos rádios de seis cães da raça Beagle. Foram avaliados três diâmetros de perfuração: 3,2 mm, 3,5 mm e 3,8 mm, que permaneceram *in vivo* por 1 ou 3 semanas. Os resultados mostraram que o valor do torque decresceu com o aumento do diâmetro da osteotomia, sendo a diferença estatisticamente significativa entre o menor e maior diâmetro.

Lahens *et al.* (2016) avaliaram o efeito da osseodensificação na estabilidade primária e osseointegração precoce. Neste estudo foram utilizados implantes cônicos e cilíndricos com dimensões de 4.2X10 mm instalados no osso ilíaco de cinco ovelhas. Cada animal recebeu seis implantes de cada tipo, inseridos por diferentes técnicas: (i) fresagem convencional (grupo controle) (R); (ii) fresagem convencional (sentido horário) com brocas de osseodensificação (Densah Burs – Versah, LCC, Jackson, MI) (CW), e (iii) osseodensificação, com as fresas em sentido anti-horário (CCW). O torque inicial no grupo que recebeu os implantes por meio da fresagem convencional foi de aproximadamente 25 N, aumentando para aproximadamente 100N nos outros grupos. A análise estatística mostrou que os grupo CW e CCW apresentaram torques de inserção significativamente mais altos que o grupo R, não sendo observadas diferenças entre os tipos de implantes utilizados. Após seis semanas, os resultados histomorfométricos sugeriram que o design

das fresas utilizadas nos grupos experimentais influenciaram positivamente a osseointegração, independentemente do sentido de rotação.

Almutairi; Walid e Alkhodary (2018) estudaram a relação entre a macro geometria do implante e a técnica de osseodensificação na estabilidade primária, utilizando 48 implantes personalizados com quatro diferentes geometrias, mas com o mesmo passo e profundidade de roscas, instalados com fresagem convencional e pela técnica de osseodensificação. Os implantes foram instalados em cabeças de fêmures bovinos, que foram fatiados com 4 cm de espessura para expor a região trabecular. No total, seis implantes de cada grupo foram instalados em alvéolos gerados por fresagem convencional (1,5mm, 2mm, 2,4-2,8mm, 2,8-3,3mm, 3,2-3,6mm e 3,8-4,2mm) e osteotomias geradas por osseodensificação (1,5mm, 2mm, VS2228, VT 2535 e VS3238). A estabilidade primária de cada implante instalado foi verificada com o Periotest®, que segundo informações do fabricante, valores entre -8 e 0 indicam boa estabilidade primária e valores acima dessa escala indicam estabilidade insuficiente. Os resultados mostraram que não houve diferença estatisticamente significativa na estabilidade primária entre os diversos tipos de implantes utilizados e a osteotomia realizada. Em relação à comparação entre os implantes instalados com a técnica convencional e osseodensificação, os resultados mostraram que os implantes instalados da maneira convencional foram mais estáveis.

Oliveira *et al.* (2018) estudaram a influência da osseodensificação na estabilidade primária e no progresso da osseointegração utilizando-se implantes sem tratamento de superfície e em implantes com superfície tratada (jateamento com óxido de alumínio e duplo condicionamento ácido). Um total de 60 implantes cônicos foram utilizados, sendo instalados bilateralmente no osso ilíaco de 5 ovelhas. Três diferentes técnicas de osteotomia foram utilizadas: (i) fresagem convencional (piloto 2mm, 3,2mm e 3,8mm); (ii) fresagem com fresas para osseodensificação em rotação em sentido horário (piloto 2mm, 2,8mm e 3,8mm) e (iii) fresas para osseodensificação em rotação em sentido anti-horário (piloto 2mm, 2,8mm e 3,8mm). O torque de inserção foi aferido com um torquímetro digital. Os resultados encontrados mostraram que não houve diferenças estatisticamente significativas no torque de inserção em relação ao tratamento de superfície aplicado ao implante. Contudo, quando se avalia a técnica de fresagem, os resultados mostraram que houve diferenças estatisticamente significativas, sendo que a técnica de osseodensificação com as fresas girando em sentido anti-horário resultou em maior torque de inserção (78N x

cm), seguida pela utilização das fresas de osseodensificação em rotação no sentido horário (53N x cm) e, com menor torque, a fresagem convencional (10N x cm).

Sultana *et al.* (2020) avaliaram a estabilidade primária e o nível da crista óssea em implantes instalados por meio de fresagem convencional e osseodensificação. Para isso, um total de vinte pacientes que necessitava de implantes na região anterior da maxila foi selecionado e dividido em dois grupos. Em ambos os grupos, a sequência de fresas utilizadas foi baseada na escolha do diâmetro e comprimento do implante a ser instalado. A estabilidade de cada implante foi aferida três vezes usando-se análise de frequência de ressonância no momento da instalação e seis meses após a cirurgia. A análise dos resultados mostrou que não houve diferenças estatisticamente significantes entre a estabilidade promovida pela técnica da osseodensificação e a técnica de fresagem convencional.

Gaspar *et al.* (2021) realizaram uma revisão sistemática com meta-análise objetivando elucidar se há diferença entre a estabilidade primária de implantes instalados pela técnica da osseodensificação e a técnica convencional. A revisão foi estruturada seguindo o Manual de Revisão Sistemática da Cochrane e de acordo com as diretrizes da PRISMA. Para serem incluídos na revisão, os estudos deveriam abordar: estudos clínicos randomizados, estudos de intervenção não-randomizados, estudos relatando a estabilidade por meio de análise de frequência de ressonância e/ou estudos com resultados imediatos e acompanhamento de pelo menos três meses após a instalação do implante. Após análise em banco de dados (Medline/PubMed, Google Scholar, Lilacs e EMBASE), oito artigos foram selecionados para revisão completa e, por não se encaixarem nos critérios de inclusão, cinco desses foram excluídos. Os três estudos incluídos na revisão englobaram 64 implantes (54 pacientes) instalados em maxila pela técnica da osseodensificação e comparados com a técnica de fresagem convencional. A revisão sistemática demonstrou que a osseodensificação apresentou maior coeficiente de estabilidade do implante no momento da instalação, e de 4 a 6 meses quando comparado à técnica convencional. Contudo, os autores enfatizam que esses resultados devem ser analisados com cautela uma vez que somente três estudos foram utilizados na meta-análise.

Potdukhe; Iyer e Nadgere (2023) desenvolveram uma revisão sistemática com meta-análise, e o objetivo foi avaliar a diferença entre a estabilidade primária de implantes e aumento de altura do assoalho do seio maxilar utilizando a técnica de osseodensificação e

com o uso de osteótomos. Para isso, os autores revisaram as bases de dados da MEDLINE/PubMed, EBSCO, Biblioteca Cochrane e Google Scholar. Foram incluídos ensaios clínicos randomizados, não-randomizados e estudos transversais entre os anos 2000 e 2022. Para uma análise qualitativa 9 artigos foram obtidos. Para análise quantitativa, 5 artigos foram selecionados. Os autores concluíram que a técnica de osseodensificação promove um aumento significativo da estabilidade primária de implantes quando comparado à técnica de osteótomos, contudo em relação ao aumento da altura óssea na técnica indireta de levantamento de seio maxilar, não foram observadas diferenças significativas.

### 3.3 MICRO TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Bouxsein *et al.* (2010) afirmaram que a utilização da  $\mu$ CT para estudo da morfologia óssea trabecular e cortical, tanto em humanos quanto em animais, cresceu imensamente. Devido ao fato de atualmente existirem diversos sistemas de aquisição de imagens, foi necessária a elaboração de diretrizes para a padronização das terminologias, unidades e parâmetros que deveriam ser incluídos na descrição dos procedimentos. Desta forma, os autores elaboraram uma série de recomendações: (1) em relação à aquisição de imagens, a seção de métodos deve relatar os seguintes parâmetros: meio de escaneamento, potencial do tubo de raios-X e tamanho do voxel, além de descrições claras do tamanho e localização do volume de interesse; (2) no que diz respeito ao processamento de imagens, a metodologia deve descrever quaisquer algoritmos utilizados para filtragem de imagem e a abordagem empregada para a segmentação de imagem, incluindo o método utilizado para delimitar as regiões ósseas corticais das trabeculares; (3) quanto à apresentação dos resultados de  $\mu$ CT, o conjunto mínimo de variáveis que deve ser utilizado para descrever a morfometria óssea trabecular inclui a fração de volume ósseo e os parâmetros trabeculares: número, espessura e separação entre trabéculas.

Bhargava *et al.* (2022) conduziram um estudo com o objetivo de avaliar alterações na arquitetura óssea trabecular, estabilidade primária e geração de calor em quatro situações: osteótomos, fresagem convencional, osseodensificação e sistemas piezoelétricos. Sensores térmicos foram utilizados para mensurar as alterações de temperatura, e micro tomografia computadorizada foi empregada para avaliar a arquitetura óssea. 60 implantes (15 por grupo) foram instalados em costelas de porcos para avaliação

da alteração de temperatura. 24 implantes (6 por grupo) foram utilizados para avaliação micro tomográfica. Os resultados não revelaram diferença significativa entre todas as quatro técnicas de preparo em termos de estabilidade primária. No entanto, o grupo de osseodensificação e o sistema piezoelétrico apresentaram torque de inserção significativamente superior aos demais. Além disso, em relação às alterações na microestrutura óssea, observou-se um aumento no número de trabéculas, resultando em uma alta porcentagem de contato osso-implante. Embora as osteotomias tenham demonstrado uma maior compressão óssea, a osseodensificação apresentou uma deposição consistente ao longo das paredes da osteotomia, sem comprimir excessivamente o osso, o que poderia comprometer o suprimento sanguíneo na interface osso-implante. Todas as técnicas foram consideradas seguras em relação ao superaquecimento ósseo, sendo que o sistema piezoelétrico apresentou maior probabilidade de elevar a temperatura óssea, especialmente na primeira perfuração que demanda um tempo de preparo mais longo, tornando necessário um clínico mais experiente para sua aplicação segura. A osseodensificação apresentou resultados promissores em termos de geração de calor, ao mesmo tempo em que promoveu uma melhor deposição óssea ao longo da osteotomia, conforme avaliado pela  $\mu$ CT.

### 3.4 APLICAÇÕES CLÍNICAS

Tian *et al.* (2019) afirmaram que um desafio adicional que a reabilitação com implantes enfrenta se refere ao déficit de volume ósseo tanto vertical quanto horizontal. Caso esse déficit ocorra somente transversalmente, é caracterizado o rebordo em “lâmina de faca”. A técnica de expansão de crista alveolar, especialmente útil nestes casos, consiste na execução de uma osteotomia longitudinalmente à crista atrófica para que seja possível a indução de uma fratura “em galho verde”. Esta fratura é manualmente expandida por meio de osteótomos sequenciais. A fim de investigar o potencial de combinação da técnica de expansão de crista alveolar com a osseodensificação, os autores instalaram 12 implantes bilateralmente em uma região edêntula que apresentavam crista alveolar em “lâmina de faca” em 6 porcos submetidos a exodontia prévia. Após levantamento de retalho de espessura total e corticotomia da crista alveolar, realizaram aleatoriamente a expansão do rebordo pela técnica de osseodensificação (n=6) e utilizando osteótomos expansores convencionais (n=6). Cada região onde ocorreram as implantações foram posteriormente submetidos a análises histológicas e histomorfométricas. Os resultados mostraram que a

técnica de osseodensificação é compatível com a técnica de expansão da crista alveolar via corticotomia, observando-se osseointegração sem efeitos adversos na cicatrização óssea e melhorando a estabilidade primária dos implantes.

Alhayati e Al-anee (2023) realizaram um estudo a fim de avaliar a eficácia da técnica de osseodensificação para elevar o assoalho de seio maxilar em situações nas quais o remanescente ósseo se apresentava entre 2 e 6 mm, além disso aferiram tanto a estabilidade primária quanto a estabilidade secundária. Dezesete paciente entre 29 e 70 anos participaram do estudo, resultando em 20 cirurgias. Os autores afirmaram que o processo de pneumatização do seio maxilar em direção coronal assim como a reabsorção da crista óssea na região de extração pode reduzir a altura óssea disponível na maxila posterior. Essa limitação óssea em altura e densidade, implicando em baixa quantidade e qualidade óssea, pode dificultar a obtenção de estabilidade primária de implantes instalados nessa região. Este fato faz com que a instalação de implantes na região posterior da maxila seja desafiadora. Quando a altura óssea remanescente for menor ou igual a 5 mm, a técnica direta, na qual é realizado um acesso lateralmente ao seio maxilar é indicada. Na técnica indireta, o acesso é realizado entre as cristas alveolares e é indicado para quando o osso remanescente apresenta pelo menos 5 mm. Ambas as técnicas são efetivas e apresentam altos índices de sucesso clínico, apesar de apresentarem limitações e possíveis complicações. Apesar da visualização limitada, a técnica indireta apresenta diversas vantagens entre elas o fato de ser mais conservadora, menor risco de ruptura da membrana sinusal e permitir implantação imediata. A técnica de osseodensificação promove a compactação óssea lateral e apical na osteotomia, dessa forma, o osso compactado penetra e eleva o assoalho do seio maxilar sem romper a membrana de Schneider, sendo uma técnica superior ao uso de osteótomos tradicionais. Os resultados mostraram que a técnica de levantamento do assoalho do seio maxilar por meio da osseodensificação se mostra efetiva, com médias de estabilidade secundária significativamente superior à estabilidade primária, sem rupturas da membrana do seio maxilar e complicações pós-operatórias.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de um estudo experimental contendo dois grupos (n=12), sendo um grupo controle no qual foi utilizada a técnica de fresagem convencional (CT) (n=6) e um grupo no qual foi utilizada a técnica de osseodensificação (OD) (n=6).

O tamanho da amostra foi calculado utilizando o software G\*Power 3.1.9.6 (Universidade de Kiel - Alemanha), baseado em um estudo piloto e no estudo conduzido por Bhargava *et al.* (2022). Foi estabelecido um tamanho amostral de 6 amostras em cada grupo considerando a homogeneidade da amostra, um nível de significância ( $\alpha$ ) de 0,05 e uma poder estatístico de 90%, sendo o principal resultado o volume ósseo e a microarquitetura trabecular tridimensional.

### 4.1 PREPARO DAS AMOSTRAS

Para a desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas as tíbias de um mesmo animal suíno esqueléticamente maduro, no dia do abate. Após a remoção de tecidos moles, os ossos foram seccionados transversalmente removendo-se aproximadamente 15 mm de superfície articular e osso sub condral, expondo a porção medular (Fig.1). Os fragmentos ósseos foram submetidos a exame de tomografia computadorizada de feixe côico a fim de se descartar quaisquer defeitos internos que pudessem comprometer a realização dos passos subsequentes da pesquisa.

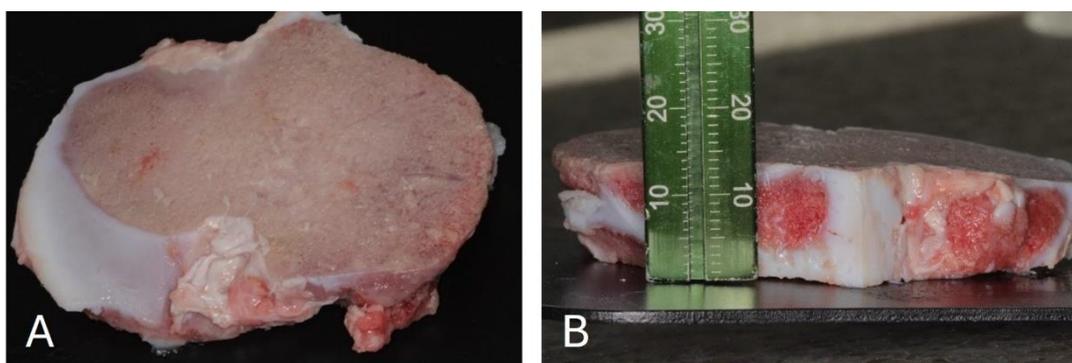


Figura 1. (A) Segmento ósseo. (B) Dimensão do fragmento ósseo

## 4.2 FRESAGENS E AFERIÇÃO DA ESTABILIDADE PRIMÁRIA DOS IMPLANTES

Toda a sequência de osteotomia foi realizada com o uso de um contra ângulo para implantes com redução de 20:1 (Driller – São Paulo – Brasil), sob irrigação externa e constante (solução salina a 0,9%, em temperatura ambiente, com fluxo de 100 ml / min) acoplada a um motor elétrico com rotação, irrigação e torque controlados eletronicamente (Driller BLM 600 Plus – São Paulo – Brasil). Todas as perfurações foram realizadas pelo mesmo operador.

O segmento ósseo foi adaptado a um dispositivo que o manteve imóvel durante a perfuração, a fim de evitar micro movimentos indesejáveis. As perfurações foram realizadas de forma aleatória a aproximadamente 1cm de distância das bordas do fragmento, a fim de se evitar a região medular central e respeitando a distância de aproximadamente 1cm entre os centros das perfurações.

As osteotomias do grupo CT foram iniciadas pela fresa FLI 20, seguida pela fresa FHI 27, com rotação de 1200 e 800 rpm, respectivamente, seguindo as orientações do fabricante (S.I.N – São Paulo – Brasil). As fresagens do grupo OD foram realizadas com as fresas desenvolvidas para a técnica de osseodensificação (Versah Burs – Jackson – Mississipi – USA), seguindo as orientações dos fabricantes, sendo iniciadas pela fresa lança (VPLTT), seguida pelas fresas VT 1525 ( $\varnothing 2$ ) e VT 2535 ( $\varnothing 3$ ), com 1200 RPM e irrigação abundante (Fig.2A e B)

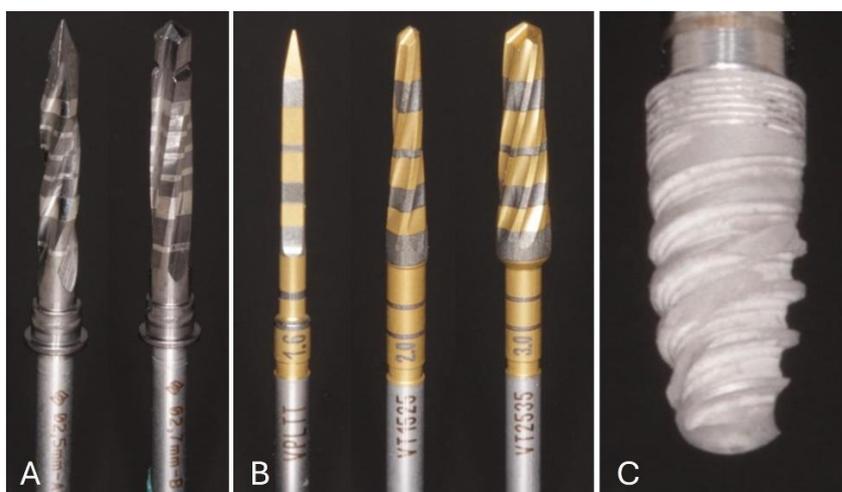


Figura 2 – (A) Fresas S.I.N (B) Fresas Versah Densah (C) Implante Epikut (S.I.N)

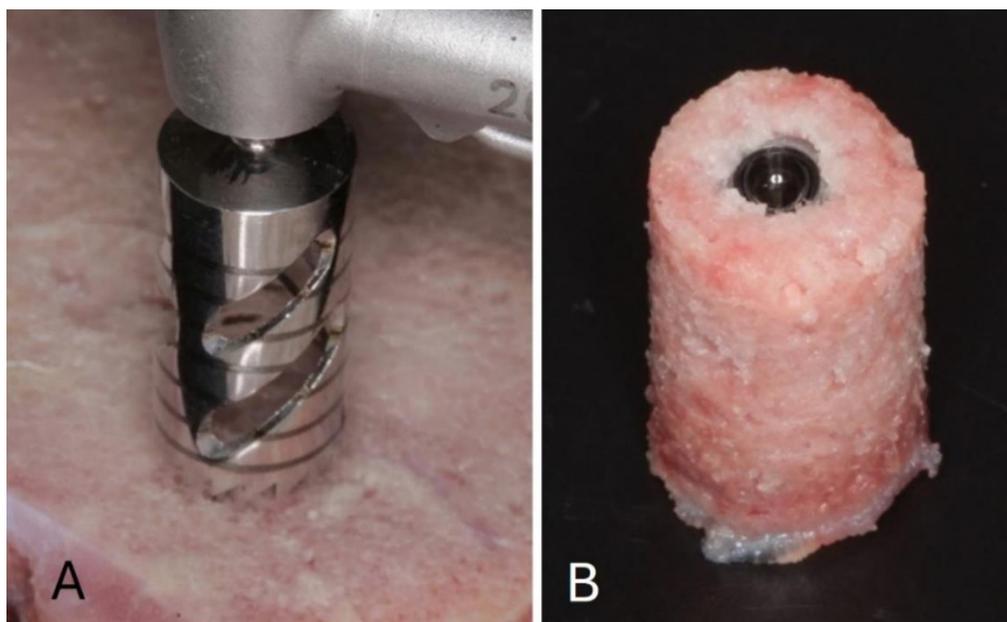
Imediatamente após cada perfuração, um implante com dimensão de 3,5x8,5 mm (Epikut – S.I.N – São Paulo – Brasil) (Fig. 2C) foi instalado 1,5 mm infra ósseo com auxílio de contra ângulo para implantes com redução de 20:1 (Driller – São Paulo – Brasil) e chave de catraca acoplada em torquímetro manual (S.I.N – São Paulo – Brasil).

O torque de inserção (N/cm) e a estabilidade primária de cada implante foi aferida por meio do uso de um torquímetro digital de precisão (INSTRUTHERM TQ-680 – São Paulo – Brasil) e pelo equipamento *Osstell® Mentor* (Osstell – Gotemburgo – Suécia), respectivamente (Fig. 3). Um SmartPeg tipo 53 (Osstell – Gotemburgo – Suécia) foi acoplado a cada um dos implantes para a determinação dos valores de estabilidade primária. Para a obtenção dos valores do quociente de estabilidade primária, foi obtida a média aritmética dos valores referentes às faces do implante (anterior, posterior, medial e lateral) (BANDELA *et al.*, 2022).



*Figura 3 – Equipamento Osstell® Mentor (B) Análise de frequência de ressonância com SmartPeg tipo 53 acoplado ao implante (C) Aferição do torque de inserção*

Em seguida, uma trefina de Ø8 mm (DSP Biomedical – São Paulo – Brasil) foi utilizada para a remoção de um fragmento ósseo contendo em seu centro o implante instalado. As amostras medem 12 mm de comprimento por 8 mm de diâmetro.



*Figura 4 – (A) Remoção de fragmento ósseo com trefina (B) Amostra*

As amostras foram conservadas separadamente, imersas em solução de formol tamponada 10% (Indalabor – Dores do Indaiá – Brasil) em embalagens hermeticamente vedadas e identificadas até o momento de serem submetidas às análises.

#### 4.3 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS DE MICRO TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

As imagens foram adquiridas por meio do aparelho de micro tomografia Bruker High Energy SkyScan 1273 (Bruker – Kontich – Bélgica) e manipuladas pelo mesmo operador, para padronização das imagens. Os seguintes parâmetros de aquisição foram utilizados: tensão de aceleração de 50 kV; corrente 160  $\mu$ A; pixel de 8,0  $\mu$ m; filtro de alumínio de 1,0 mm; matriz do detector de 2240 x 2240 pixels; 0,5° de passo de rotação e rotação total de 360°; tempo médio de escaneamento de 48 minutos para cada amostra.

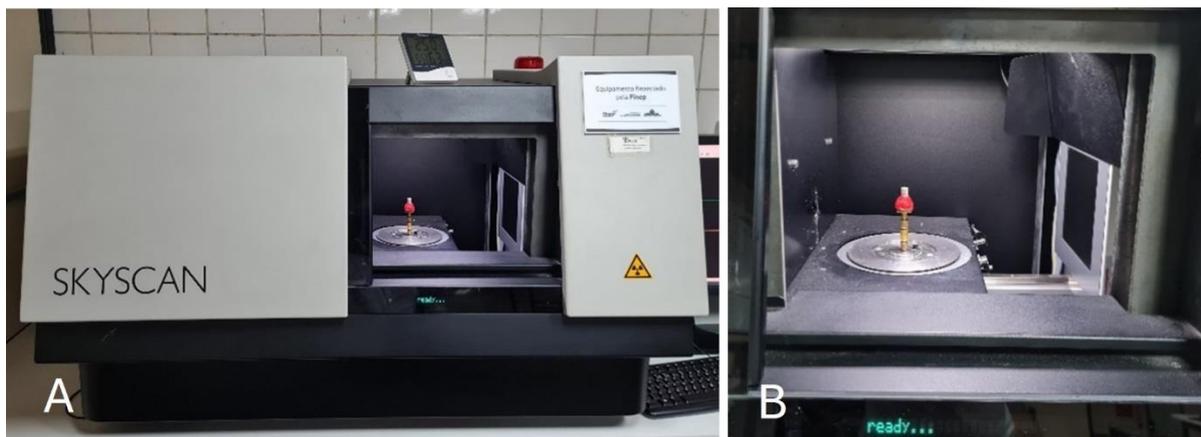


Figura 5 – (A) Micro tomógrafo Bruker High Energy SkyScan 1273 (B) Amostra posicionada no micro tomógrafo

#### 4.4 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS IMAGENS DE MICRO TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Após a aquisição, as imagens foram reconstruídas pelo *software* NRecon (1.7.0.4). Foram utilizadas as seguintes configurações: suavização: 2; artefato de anel: 4; endurecimento do feixe: 75%; intervalo de coeficiente de atenuação: 0,00 – 0,16. As análises foram realizadas pelo *software* CT Analyser (1.17.7.2).

##### 4.4.1 Definição do volume de interesse (VOI)

O *software* CT Analyser foi utilizado para quantificar o volume total da amostra, que consiste em aproximadamente 1256 cortes axiais. Inicialmente foi definida a ROI a ser avaliada, que consistiu na área ao redor de todo o corpo do implante, definindo, portanto, um volume de interesse (VOI) que se inicia a 14 *pixels* (0,112mm) deste e se estende 1mm (125 *pixels*) apicalmente. Um *gap* entre o implante e o início do VOI é necessário para evitar artefatos de endurecimento do feixe (*beam hardening*) (BHARGAVA *et al.*, 2022). Devido a geometria do implante, a VOI foi sendo ajustada manualmente, mantendo, contudo, a área e o espaçamento previamente definidos e possui o volume de 107 mm<sup>3</sup>.

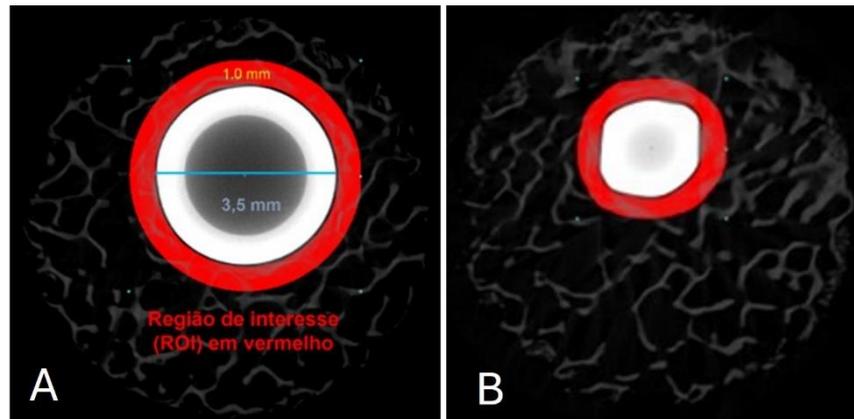


Figura 6 – (A) Dimensão da VOI (B) Corte em região mais apical mostrando VOI ajustada ao corpo irregular do implante

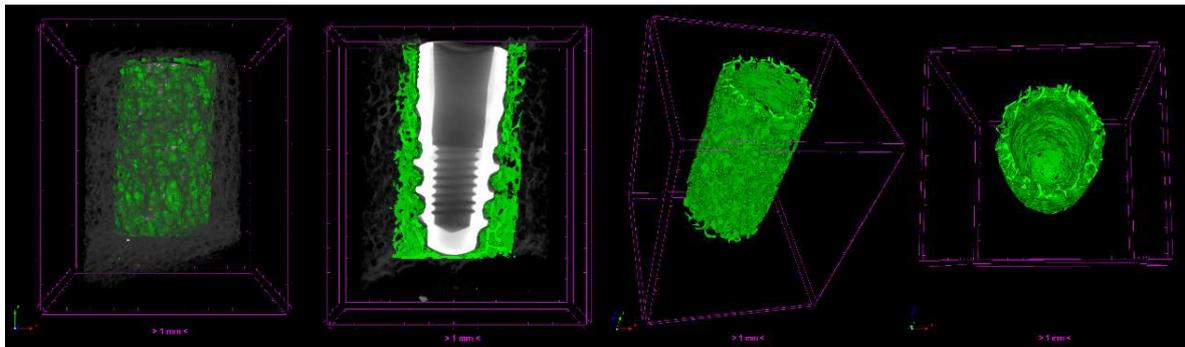
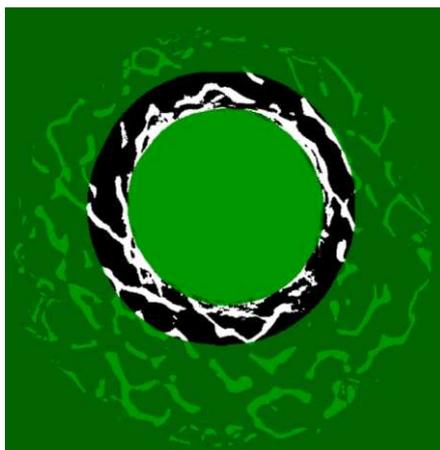


Figura 7 - Representação gráfica 3D do volume de interesse analisado (em verde)

#### 4.4.2 Binarização do VOI

Para quantificar os parâmetros em análise, torna-se necessário binarizar as imagens. A binarização consiste na conversão dos pixels representativos para tons de cinza por meio da representação binária em branco e preto. Neste contexto, os pixels de maior valor numérico são interpretados como hiper atenuantes (brancos) representando, portanto, o tecido ósseo mineralizado.

A seleção do *threshold*, no histograma de cores, para as imagens foi realizada visualmente de acordo com BOUXSEIN *et al.* (2010). Essa escolha baseia-se na similaridade com imagem original ainda não binarizada e foi definida no intervalo de 0 a 35, representando tecido não-mineralizado e, acima deste valor, tecido mineralizado.



*Figura 8 - VOI binarizada*

Após a binarização e a definição do histograma, procedeu-se com a avaliação dos parâmetros tridimensionais (volume ósseo, número de trabéculas, espaçamento e separação entre as trabéculas ósseas) por meio da ferramenta 3D Analysis. Após a análise quantitativa, a VOI foi salva em modelo 3D para produzir imagens tridimensionais representativas de cada grupo pelo *software CTVox*.

## 5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão. Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e ao teste de Grubbs, para validação da normalidade e ausência de *outliers*, respectivamente. A comparação entre os grupos foi realizada pelo teste *T* não-pareado. O *software* GraphPad Prism 9 (La Jolla, Califórnia, EUA) foi utilizado para análise dos dados. Os resultados foram considerados estatisticamente significantes quando  $p < 0,05$ .

## 6 RESULTADOS

### 6.1 TORQUE DE INSERÇÃO E QUOCIENTE DE ESTABILIDADE PRIMÁRIA

Os dados referentes ao torque de inserção e quociente de estabilidade primária estão descritos na tabela a seguir.

Tabela 1 - Valores de média  $\pm$  desvio padrão referentes a torque de inserção e quociente de estabilidade primária

Grupo	Torque de inserção	Quociente de estabilidade primária
CT	7,67 $\pm$ 2,44 <sup>a</sup>	61,33 $\pm$ 4,66 <sup>a</sup>
OD	19,78 $\pm$ 5,26 <sup>b</sup>	63,25 $\pm$ 4,58 <sup>a</sup>

Letras iguais indicam valores estatisticamente iguais. Letras diferentes indicam valores estatisticamente diferentes pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

A análise estatística dos dados permite afirmar que o torque de inserção do grupo OD apresentou valores significativamente mais altos que o grupo CT ( $p=0,0005$ ) apesar do quociente de estabilidade primária ser estatisticamente igual entre os grupos ( $p=0,48$ )

### 6.2 AVALIAÇÃO DO VOLUME ÓSSEO

A dados relativos aos volumes ósseos estão descritos na tabela a seguir.

Tabela 2 - Valores micromorfométricos relativos à arquitetura óssea

Grupos	Volume ósseo BV (mm <sup>3</sup> )	Espessura entre as trabéculas Tb.Th (mm)	Número de trabéculas Tb.N (1/mm)	Espaçamento entre as trabéculas Tb.Sp (mm)	Porosida de total Po.V(tot)	Índice de modelo de estrutura SMI (#)
CT	23,17 $\pm$ 3,39 <sup>a</sup>	0,1130 $\pm$ 0,009 <sup>a</sup>	1,626 $\pm$ 0,18 <sup>a</sup>	0,4357 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>	102,5 $\pm$ 3,27 <sup>a</sup>	1,776 $\pm$ 0,2595 <sup>a</sup>
OD	32,01 $\pm$ 5,75 <sup>b</sup>	0,1328 $\pm$ 0,015 <sup>b</sup>	1,946 $\pm$ 0,13 <sup>b</sup>	0,3865 $\pm$ 0,04 <sup>b</sup>	94,43 $\pm$ 7,16 <sup>b</sup>	1,420 $\pm$ 0,4310 <sup>a</sup>

Letras iguais indicam valores estatisticamente iguais. Letras diferentes indicam valores estatisticamente diferentes pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Foi observado uma diferença estatisticamente significativa entre os grupos, revelando maior volume ósseo peri-implantar no grupo OD (CT:  $23,17 \pm 3,39 \text{ mm}^3$ ; OD:  $32,01 \pm 5,75 \text{ mm}^3$ ) ( $p=0,0089$ ). Além disso, foram demonstradas diferenças estatisticamente significativas em relação aos parâmetros trabeculares: Tb.Th (CT:  $0,1130 \pm 0,009 \text{ mm}$ ; OD:  $0,1328 \pm 0,015 \text{ mm}$ ) ( $p=0,02$ ), Tb.N (CT:  $1,626 \pm 0,181/\text{mm}$ ; OD:  $1,946 \pm 0,131/\text{mm}$ ) ( $p=0,007$ ) e Tb.Sp (CT:  $0,4357 \pm 0,03 \text{ mm}$ ; OD:  $0,3865 \pm 0,04 \text{ mm}$ ) ( $p=0,0449$ ). Também foi observado diferença estatisticamente significativa no volume de porosidade total (Po.V(tot)) (CT=  $102,5 \pm 3,27$ ; OD=  $94,43 \pm 7,16$ ) ( $p=0,0305$ ). O SMI não apresentou diferença entre os grupos ( $p=0,99$ ).

## 7 DISCUSSÃO

No estudo conduzido por Huwais e Meyer (2017), a estabilidade primária, baseada nos valores de torque de inserção, foram maiores nos grupos nos quais os implantes foram instalados pela técnica de osseodensificação; contudo, os valores do quociente de estabilidade do implante, aferido com o teste de análise de frequência de ressonância (Osstell®) foram similares entre os grupos. Esses dados corroboram os dados encontrados neste estudo. Portanto, a hipótese nula foi rejeitada uma vez que os dois métodos de fresagem apresentam resultados diferentes em relação ao torque de inserção e microarquitetura óssea. No estudo conduzido por Almutairi; Walid e Alkhodary (2018), que apresentam resultados divergente em relação a este, os resultados encontrados podem ser atribuídos ao fato de os autores terem utilizados o Periotest®, que apresenta uma sensibilidade menor que o Osstell® (JAVED *et al.*, 2013). Além disso, a estabilidade primária, pode ser influenciada tanto pela densidade óssea quanto pela espessura e densidade óssea cortical (DEGIDI *et al.*, 2009). Outro fato a ser observado diz respeito ao estudo conduzido por Trisi *et al.* (2016) no qual foi observado que a técnica de osseodensificação aumentou os níveis de estabilidade primária contudo, no grupo de teste o diâmetro dos implantes era menor que os instalados nos grupos experimentais, o que gera uma diferença de 26% na área de superfície.

Apesar da osseodensificação apresentar resultados favoráveis em termos de aumento da estabilidade primária e aumento da densidade óssea peri-implantar, a maioria dos estudos envolvem modelos animais. Almutairi; Walid e Alkhodary (2018) utilizaram cabeça de fêmur de bovino *ex vivo*, removendo a cortical óssea para a exposição da região medular. Delgado-Ruiz *et al.* (2020), for sua vez, utilizaram costelas de suínos *ex vivo* sem, contudo, especificar a densidade desse osso. Já Lahens *et al.* (2016), em um estudo *in vivo*, optaram por utilizar osso ilíaco de ovelhas devido a sua menor densidade. Gandhi e Padhye (2023) utilizaram cortes de tíbia suína, removendo-se a porção articular.

Características específicas da macro geometria do implante, como profundidade e espessura desempenham um papel crucial na obtenção de uma estabilidade primária aprimorada (YAMAGUCHI *et al.*, 2020). Estudos indicam que roscas mais largas e mais profundas apresentam melhor desempenho em aspectos micromorfológicos e biomecânicos do que roscas mais curtas e menos profundas em ossos de baixa densidade

(FALCO; BERARDINI; TRISI, 2018). O presente estudo adotou um modelo único de implante com design cortante e compressivo, contendo duas roscas com suporte invertido, especialmente projetado para ossos de baixa densidade. Dessa forma, a diferença no torque de inserção entre os grupos estudados pode ser atribuída à técnica de perfuração utilizada e não à geometria específica do implante, uma conclusão alinhada com os achados clínicos de Bergamo *et al.* (2021) e Lahens *et al.* (2016).

Segundo Pius *et al.* (2022), o volume ósseo é um fator essencial para o sucesso da osseointegração. A osseodensificação, sendo uma técnica não subtrativa, realiza uma compactação do osso no local cirúrgico (PUNNOOSE *et al.*, 2022). Essa constatação é respaldada pelos resultados do presente estudo, que revelou um maior volume ósseo peri-implantar em comparação com a técnica convencional. Os dados micromorfométricos indicam que o aumento no valor do volume ósseo está principalmente associado à condensação trabecular, evidenciada pelo aumento do Tb.N e pela redução do Tb.Sp quando comparado à técnica convencional. Todos esses resultados vão de encontro aos achados por Trisi *et al.* (2016), que observaram um aumento de aproximadamente 30% no percentual de volume ósseo quando a técnica de osseodensificação foi utilizada, embora tenham optado por utilizar técnicas histológicas convencionais para quantificar esses valores. Em um estudo conduzido por Bhargava *et al.* (2022), não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas no volume ósseo ao utilizar a técnica de osseodensificação, o que contrasta com os achados do presente estudo. Uma possível explicação para essa discrepância pode ser atribuída ao tipo de osso utilizado, uma vez que eles empregaram uma costela suína com 1,5-2 mm de osso cortical, correspondente a um osso do tipo D2. Esse tipo de osso é mais denso do que o utilizado no presente estudo e pode ser mais resistente à compressão gerada pela técnica de osseodensificação, não promovendo, assim, alterações significativas no volume ósseo.

A técnica de osseodensificação tem demonstrado ser eficaz na formação de uma camada condensada de osso autógeno ao redor das paredes da osteotomia (PUNNOOSE *et al.*, 2022; SLETE; OLIN; PRASAD, 2018), conforme evidenciado pelos resultados deste estudo. Isso pode estar associado aos menores valores de Po.V(tot) no grupo OD, juntamente com os valores mais elevados de volume ósseo. No entanto, é crucial compreender que essa camada condensada de osso desempenha um papel fundamental ao proporcionar estabilidade mecânica imediata ao implante por meio de um encaixe físico

mais robusto entre o osso e o implante, o que é significativo no contexto da osseointegração.

O índice de modelo de estrutura (SMI) é um índice desenvolvido para avaliar a natureza em forma de placa ou em forma de haste da estrutura trabecular óssea. A escala do SMI atribui um valor de 0 para estruturas perfeitamente em forma de placa, 3 para estruturas perfeitamente em forma de haste e 4 para estruturas perfeitamente esféricas (BOUXSEIN *et al.*, 2010). A proporção relativa de hastes para placas dentro do osso trabecular acredita-se que desempenhe um papel significativo na determinação da resistência mecânica do osso, sendo que as placas geralmente são consideradas possuir propriedades mecânicas superiores em comparação com as hastes (SALMON *et al.*, 2015). Com base nos resultados deste estudo, os dados do SMI não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Portanto, pode-se inferir que a estrutura trabecular em ambas as situações de perfuração estava mais próxima da forma de placa, no entanto, não diferindo ao comparar ambos os métodos de perfuração.

É essencial considerar as limitações deste estudo, como a análise *ex-vivo* e o uso de um único modelo de implante. São necessários estudos laboratoriais e clínicos adicionais, possivelmente incluindo casos associados a enxertos ósseos, para validar esses resultados e proporcionar uma compreensão mais aprofundada das respostas dos tecidos à técnica de osseodensificação. No geral, os resultados deste estudo biomecânico indicam que a osseodensificação pode ser uma técnica útil para aprimorar a estabilidade primária do implante em situações em que há pouco ou nenhum osso cortical, como na colocação imediata de implantes após exodontias ou em casos de implantação intrasseptal.

A técnica de osseodensificação apresentou valores mais elevados de volume trabecular, acompanhados por um maior número de trabéculas e redução dos espaços medulares e intraósseos em comparação com a técnica convencional. Nesse contexto, pode-se inferir que a osseodensificação tem o potencial de aprimorar a estabilidade primária, aumentando o torque de inserção, e isso estaria correlacionado a uma maior quantidade de osso disponível para sustentar o implante.

## **8 CONCLUSÃO**

A técnica de osseodensificação promove o aumento do volume ósseo peri-implantar, acompanhado por um aumento no número de trabéculas e uma redução no espaçamento entre elas em comparação com o método de fresagem convencional. Nesse contexto, é possível sugerir que a osseodensificação tem o potencial de aprimorar a estabilidade primária ao aumentar o torque de inserção, o que pode estar associado a uma maior quantidade de osso disponível para dar suporte ao implante.

## REFERÊNCIAS

- ALHAYATI, J. Z.; AL-ANEE, A. M. Evaluation of crestal sinus floor elevations using versah burs with simultaneous implant placement, at residual bone height  $\geq 2.0$  \_  $< 6.0$  mm. A prospective clinical study. **Oral Maxillofac Surg**, 27, n. 2, p. 325-332, Jun 2023.
- ALIFARAG, A. M.; LOPEZ, C. D.; NEIVA, R. F.; TOVAR, N. *et al.* Atemporal osseointegration: Early biomechanical stability through osseodensification. **J Orthop Res**, 36, n. 9, p. 2516-2523, Sep 2018.
- ALMUTAIRI, A. S.; WALID, M. A.; ALKHODARY, M. A. The effect of osseodensification and different thread designs on the dental implant primary stability. **F1000Res**, 7, p. 1898, 2018.
- ALTHOBAITI, A. K.; ASHOUR, A. W.; HALTEET, F. A.; ALGHAMDI, S. I. *et al.* A Comparative Assessment of Primary Implant Stability Using Osseodensification vs. Conventional Drilling Methods: A Systematic Review. **Cureus**, 15, n. 10, p. e46841, Oct 2023.
- BANDELA, V.; SHETTY, N.; MUNAGAPATI, B.; BASANY, R. B. *et al.* Comparative Evaluation of Osseodensification Versus Conventional Osteotomy Technique on Dental Implant Primary Stability: An Ex Vivo Study. **Cureus**, 14, n. 10, p. e30843, Oct 2022.
- BERGAMO, E. T. P.; ZAHOU, A.; BARRERA, R. B.; HUWAIS, S. *et al.* Osseodensification effect on implants primary and secondary stability: Multicenter controlled clinical trial. **Clin Implant Dent Relat Res**, 23, n. 3, p. 317-328, Jun 2021.
- BETTACH, R.; BOUKHRIS, G.; DE AZA, P. N.; DA COSTA, E. M. *et al.* New strategy for osseodensification during osteotomy in low-density bone: an in vitro experimental study. **Sci Rep**, 13, n. 1, p. 11924, Jul 24 2023.
- BHARGAVA, N.; PERROTTI, V.; CAPONIO, V. C. A.; MATSUBARA, V. H. *et al.* Comparison of heat production and bone architecture changes in the implant site preparation with compressive osteotomes, osseodensification technique, piezoelectric devices, and standard drills: an ex vivo study on porcine ribs. **Odontology**, Jul 19 2022.
- BLANCO, J.; ALVAREZ, E.; MUNOZ, F.; LINARES, A. *et al.* Influence on early osseointegration of dental implants installed with two different drilling protocols: a histomorphometric study in rabbit. **Clin Oral Implants Res**, 22, n. 1, p. 92-99, Jan 2011.
- BOUXSEIN, M. L.; BOYD, S. K.; CHRISTIANSEN, B. A.; GULDBERG, R. E. *et al.* Guidelines for assessment of bone microstructure in rodents using micro-computed tomography. **J Bone Miner Res**, 25, n. 7, p. 1468-1486, Jul 2010.
- CAMPOS, F. E.; GOMES, J. B.; MARIN, C.; TEIXEIRA, H. S. *et al.* Effect of drilling dimension on implant placement torque and early osseointegration stages: an experimental study in dogs. **J Oral Maxillofac Surg**, 70, n. 1, p. e43-50, Jan 2012.
- COHEN, O.; ORMIANER, Z.; TAL, H.; ROTHAMEL, D. *et al.* Differences in crestal bone-to-implant contact following an under-drilling compared to an over-drilling protocol. A study in the rabbit tibia. **Clin Oral Investig**, 20, n. 9, p. 2475-2480, Dec 2016.
- CORTES, A. R.; CORTES, D. N. Nontraumatic bone expansion for immediate dental implant placement: an analysis of 21 cases. **Implant Dent**, 19, n. 2, p. 92-97, Apr 2010.

DEGIDI, M.; PERROTTI, V.; STROCCHI, R.; PIATTELLI, A. *et al.* Is insertion torque correlated to bone-implant contact percentage in the early healing period? A histological and histomorphometrical evaluation of 17 human-retrieved dental implants. **Clin Oral Implants Res**, 20, n. 8, p. 778-781, Aug 2009.

DELGADO-RUIZ, R.; GOLD, J.; SOMOHANO MARQUEZ, T.; ROMANOS, G. Under-Drilling versus Hybrid Osseodensification Technique: Differences in Implant Primary Stability and Bone Density of the Implant Bed Walls. **Materials (Basel)**, 13, n. 2, Jan 15 2020.

EL-KHOLEY, K. E.; RAMASAMY, S.; KUMAR, R. S.; ELKOMY, A. Effect of Simplifying Drilling Technique on Heat Generation During Osteotomy Preparation for Dental Implant. **Implant Dent**, 26, n. 6, p. 888-891, Dec 2017.

FALCO, A.; BERARDINI, M.; TRISI, P. Correlation Between Implant Geometry, Implant Surface, Insertion Torque, and Primary Stability: In Vitro Biomechanical Analysis. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 33, n. 4, p. 824-830, Jul/Aug 2018.

FOLKMAN, M.; BECKER, A.; MEINSTER, I.; MASRI, M. *et al.* Comparison of bone-to-implant contact and bone volume around implants placed with or without site preparation: a histomorphometric study in rabbits. **Sci Rep**, 10, n. 1, p. 12446, Jul 24 2020.

FONTES PEREIRA, J.; COSTA, R.; NUNES VASQUES, M.; SALAZAR, F. *et al.* Osseodensification: An Alternative to Conventional Osteotomy in Implant Site Preparation: A Systematic Review. **J Clin Med**, 12, n. 22, Nov 11 2023.

GAIKWAD, A. M.; JOSHI, A. A.; NADGERE, J. B. Biomechanical and histomorphometric analysis of endosteal implants placed by using the osseodensification technique in animal models: A systematic review and meta-analysis. **J Prosthet Dent**, 127, n. 1, p. 61-70, Jan 2022.

GANDHI, Y.; PADHYE, N. Comparison of insertion torque, implant stability quotient and removal torque, in two different implant designs with and without osseodensification. - An ex vivo bench top study. **J Oral Biol Craniofac Res**, 13, n. 2, p. 249-252, Mar-Apr 2023.

GASPAR, J.; PROENCA, L.; BOTELHO, J.; MACHADO, V. *et al.* Implant Stability of Osseodensification Drilling Versus Conventional Surgical Technique: A Systematic Review. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 36, n. 6, p. 1104-1110, Nov-Dec 2021.

HUANG, H.; WU, G.; HUNZIKER, E. The clinical significance of implant stability quotient (ISQ) measurements: A literature review. **J Oral Biol Craniofac Res**, 10, n. 4, p. 629-638, Oct-Dec 2020.

HUWAIS, S. Fluted osteotome and surgical method for use. **US2013/0004918. US Patent Application**, 3 January., 2013.

HUWAIS, S.; MEYER, E. G. A Novel Osseous Densification Approach in Implant Osteotomy Preparation to Increase Biomechanical Primary Stability, Bone Mineral Density, and Bone-to-Implant Contact. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 32, n. 1, p. 27-36, Jan/Feb 2017.

INCHINGOLO, A. D.; INCHINGOLO, A. M.; BORDEA, I. R.; XHAJANKA, E. *et al.* The Effectiveness of Osseodensification Drilling Protocol for Implant Site Osteotomy: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis. **Materials (Basel)**, 14, n. 5, Feb 28 2021.

IRIE, M. S.; RABELO, G. D.; SPIN-NETO, R.; DECHICHI, P. *et al.* Use of Micro-Computed Tomography for Bone Evaluation in Dentistry. **Braz Dent J**, 29, n. 3, p. 227-238, May-Jun 2018.

JAVED, F.; AHMED, H. B.; CRESPI, R.; ROMANOS, G. E. Role of primary stability for successful osseointegration of dental implants: Factors of influence and evaluation. **Interv Med Appl Sci**, 5, n. 4, p. 162-167, Dec 2013.

LAHENS, B.; LOPEZ, C. D.; NEIVA, R. F.; BOWERS, M. M. *et al.* The effect of osseodensification drilling for endosteal implants with different surface treatments: A study in sheep. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater**, 107, n. 3, p. 615-623, Apr 2019.

LAHENS, B.; NEIVA, R.; TOVAR, N.; ALIFARAG, A. M. *et al.* Biomechanical and histologic basis of osseodensification drilling for endosteal implant placement in low density bone. An experimental study in sheep. **J Mech Behav Biomed Mater**, 63, p. 56-65, Oct 2016.

LEE, E. A.; ANITUA, E. Atraumatic ridge expansion and implant site preparation with motorized bone expanders. **Practical Procedures & Aesthetic Dentistry : PPAD**, 18, n. 1, p. 17-22, 2006.

MOON, S. H.; UM, H. S.; LEE, J. K.; CHANG, B. S. *et al.* The effect of implant shape and bone preparation on primary stability. **J Periodontal Implant Sci**, 40, n. 5, p. 239-243, Oct 2010.

OLIVEIRA, P. G. F. P.; BERGAMO, E. T. P.; NEIVA, R.; BONFANTE, E. A. *et al.* Osseodensification outperforms conventional implant subtractive instrumentation: A study in sheep. **Mater Sci Eng C Mater Biol Appl**, 90, p. 300-307, Sep 1 2018.

PADHYE, N. M.; PADHYE, A. M.; BHATAVADEKAR, N. B. Osseodensification -- A systematic review and qualitative analysis of published literature. **J Oral Biol Craniofac Res**, 10, n. 1, p. 375-380, Jan-Mar 2020.

PAI, U. Y.; RODRIGUES, S. J.; TALREJA, K. S.; MUNDATHAJE, M. Osseodensification - A novel approach in implant dentistry. **J Indian Prosthodont Soc**, 18, n. 3, p. 196-200, Jul-Sep 2018.

PIKOS, M. A.; MIRON, R. J. Osseodensification: An Overview of Scientific Rationale and Biological Background. **Compend Contin Educ Dent**, 40, n. 4, p. 217-222, 2019.

PIUS, G.; SARANYA, S. K.; KUMAR, A.; MATHEW, A. *et al.* Comparative evaluation of implant stability using bone expanders and conventional osteotomy. **J Oral Biol Craniofac Res**, 12, n. 6, p. 885-889, Nov-Dec 2022.

POTDUKHE, S. S.; IYER, J. M.; NADGERE, J. B. Evaluation of implant stability and increase in bone height in indirect sinus lift done with the osseodensification and osteotome technique: A systematic review and meta-analysis. **J Prosthet Dent**, Jul 5 2023.

PUNNOOSE, K.; KUMAR, G. A.; B, M.; GOVINDARAJULU, R. *et al.* Osseodensification implant site preparation technique and subsequent implant stability: A pilot study. **J Orthod Sci**, 11, p. 50, 2022.

SALMON, P. L.; OHLSSON, C.; SHEFELBINE, S. J.; DOUBE, M. Structure Model Index Does Not Measure Rods and Plates in Trabecular Bone. **Front Endocrinol (Lausanne)**, 6, p. 162, 2015.

SEO, D.-J.; MOON, S.-Y.; YOU, J.-S.; LEE, W.-P. *et al.* The Effect of Under-Drilling and Osseodensification Drilling on Low-Density Bone: A Comparative Ex Vivo Study. **Applied Sciences**, 12, n. 3, 2022.

SHALABI, M. M.; WOLKE, J. G. C.; E., d. R. A. J.; JANSEN, J. A. A mechanical evaluation of implants placed with different surgical techniques into the trabecular bone of goats. **Clin Oral Implants Res** 18, p. 489-495, 2007.

SHEMTOV-YONA, K. Quantitative assessment of the jawbone quality classification: A meta-analysis study. **PLoS One**, 16, n. 6, p. e0253283, 2021.

SLETE, F. B.; OLIN, P.; PRASAD, H. Histomorphometric Comparison of 3 Osteotomy Techniques. **Implant Dent**, 27, n. 4, p. 424-428, Aug 2018.

SONG, J. W.; CHA, J. Y.; BECHTOLD, T. E.; PARK, Y. C. Influence of peri-implant artifacts on bone morphometric analysis with micro-computed tomography. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 28, n. 2, p. 519-525, Mar-Apr 2013.

STOCCHERO, M.; JINNO, Y.; TOIA, M.; AHMAD, M. *et al.* Intraosseous Temperature Change during Installation of Dental Implants with Two Different Surfaces and Different Drilling Protocols: An In Vivo Study in Sheep. **J Clin Med**, 8, n. 8, Aug 11 2019.

STOCCHERO, M.; TOIA, M.; CECCHINATO, D.; BECKTOR, J. P. *et al.* Biomechanical, Biologic, and Clinical Outcomes of Undersized Implant Surgical Preparation: A Systematic Review. **Int J Oral Maxillofac Implants**, 31, n. 6, p. 1247-1263, Nov/Dec 2016.

SULTANA, A.; MAKKAR, S.; SAXENA, D.; WADHAWAN, A. *et al.* To compare the stability and crestal bone loss of implants placed using osseodensification and traditional drilling protocol: A clinicroadiographical study. **J Indian Prosthodont Soc**, 20, n. 1, p. 45-51, Jan-Mar 2020.

TABASSUM, A.; MEIJER, G. J.; WALBOOMERS, X. F.; JANSEN, J. A. Evaluation of primary and secondary stability of titanium implants using different surgical techniques. **Clin Oral Implants Res**, 25, n. 4, p. 487-492, Apr 2014.

TIAN, J. H.; NEIVA, R.; COELHO, P. G.; WITEK, L. *et al.* Alveolar Ridge Expansion: Comparison of Osseodensification and Conventional Osteotome Techniques. **J Craniofac Surg**, 30, n. 2, p. 607-610, Mar/Apr 2019.

TRETTO, P. H. W.; FABRIS, V.; CERICATO, G. O.; SARKIS-ONOFRE, R. *et al.* Does the instrument used for the implant site preparation influence the bone-implant interface? A systematic review of clinical and animal studies. **Int J Oral Maxillofac Surg**, 48, n. 1, p. 97-107, Jan 2019.

TRISI, P.; BERARDINI, M.; FALCO, A.; PODALIRI VULPIANI, M. New Osseodensification Implant Site Preparation Method to Increase Bone Density in Low-Density Bone: In Vivo Evaluation in Sheep. **Implant Dent**, 25, n. 1, p. 24-31, Feb 2016.

VANDEWEGHE, S.; COELHO, P. G.; VANHOVE, C.; WENNERBERG, A. *et al.* Utilizing micro-computed tomography to evaluate bone structure surrounding dental implants: a comparison with histomorphometry. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater**, 101, n. 7, p. 1259-1266, Oct 2013.

WANG, L.; WU, Y.; PEREZ, K. C.; HYMAN, S. *et al.* Effects of condensation on peri-implant bone density and remodeling. **J Dent Res.**, 96, n. 4, p. 413-420, 2017.

WITEK, L.; NEIVA, R.; ALIFARAG, A.; SHAHRAKI, F. *et al.* Absence of Healing Impairment in Osteotomies Prepared via Osseodensification Drilling. **Int J Periodontics Restorative Dent**, 39, n. 1, p. 65-71, Jan/Feb 2019.

YAMAGUCHI, Y.; SHIOTA, M.; FUJII, M.; SHIMOGISHI, M. *et al.* Effects of implant thread design on primary stability-a comparison between single- and double-threaded implants in an artificial bone model. **Int J Implant Dent**, 6, n. 1, p. 42, Aug 20 2020.