



FACULDADE  
ILAPEO

Ricardo Pasquini Filho

**Comparação histológica da cicatrização da elevação do assoalho do seio maxilar com substituto ósseo xenógeno em dois tempos cirúrgicos. Um ensaio clínico randomizado**

CURITIBA  
2024

Ricardo Pasquini Filho

Comparação histológica da cicatrização da elevação do assoalho do seio maxilar com substituto ósseo xenógeno em dois tempos cirúrgicos. Um ensaio clínico randomizado.

Tese apresentada a Faculdade ILAPEO como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutor em Odontologia

Orientador(a): Prof. Dr. Leandro Eduardo Klüppel

Co-orientador(a): Prof. Dr. Rubens Moreno de Freitas

CURITIBA  
2024

Ricardo Pasquini Filho

Comparação histológica da cicatrização da elevação do assoalho do seio maxilar com substituto ósseo xenógeno em dois tempos cirúrgicos. Um ensaio clínico randomizado.

Presidente da Banca Orientadora: Dr. Leandro Eduardo Kluppel

**BANCA EXAMINADORA**

Prof(a). Dr(a). Tatiana Miranda Deliberador

Prof(a). Dr(a). João Rodrigo Sarot

Prof(a). Dr(a). Rubens Moreno de Freitas

Prof(a). Dr(a). Delson Costa

Aprovada em: 31-07-2024

## Sumário

1. Artigo científico 1 .....	5
2. Artigo científico 2.....	32

## Artigo científico 1

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico Clinical Oral Implants Research.

### COMPARAÇÃO HISTOLÓGICA DA CICATRIZAÇÃO DA ELEVAÇÃO DO ASSOALHO DO SEIO MAXILAR COM SUBSTITUTO ÓSSEO XENÓGENO EM DOIS TEMPOS CIRÚRGICOS. UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO.

Ricardo Pasquini Filho<sup>1</sup>  
Leandro Eduardo Kluppel<sup>2</sup>  
Rubens Moreno de Freitas<sup>3</sup>  
Luíz Antônio Violin<sup>4</sup>  
Elcio Marcantonio Junior<sup>5</sup>  
Tatiana Miranda Deliberador<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Doutorando Faculdade ILAPEO

<sup>2</sup> Professor Doutor Departamento de Implantodontia | Faculdade ILAPEO

<sup>3</sup> Professor Doutor Departamento de Implantodontia | Faculdade Instituto Latino Americano de Pesquisa Odontológica -ILAPEO

<sup>4</sup> Professor associado do Depto de Bioquímica e Biologia Tecidual da Universidade Estadual de Campinas – Instituto de Biologia (Unicamp-IB)

<sup>5</sup> Departamento de Ciências da Saúde, Curso de Pós-Graduação de Implantodontia, Centro Universitário de Araquara -UNIARA, São Paulo, Brazil

<sup>6</sup> Professora da Faculdade ILAPEO

#### RESUMO

**Introdução:** A utilização de biomateriais osso bovino sinterizado em enxertos de seio maxilar favorece a formação de um tecido ósseo viável, promovendo aumento da altura, densidade óssea e superfície de contato entre osso e implante. Esses fatores contribuem para a osseointegração e longevidade dos implantes dentários. No entanto, o tempo ideal de cicatrização para a instalação dos implantes em áreas enxertadas exclusivamente com esse biomaterial ainda não está bem estabelecido.

**Objetivo:** Comparar os efeitos de dois tempos distintos de cicatrização (4 e 8 meses) na neoformação óssea após a elevação do assoalho do seio maxilar com enxerto ósseo bovino sinterizado, por meio de análises histológica e histomorfométrica.

**Materiais e Métodos:** Quatorze participantes com edentulismo bilateral na região posterior da maxila foram incluídos e randomizados em dois grupos com períodos de cicatrização de 4 e 8 meses, utilizando o modelo de boca dividida. Os enxertos de seio maxilar foram realizados no início do estudo (mês 0) no Grupo Controle (GC) e após 4 meses no Grupo Teste (GT). No oitavo mês de cicatrização, amostras ósseas foram coletadas e submetidas à análise histomorfométrica para quantificação das porcentagens de osso neoformado, biomaterial remanescente e tecidos moles. As lâminas foram coradas com hematoxilina-eosina e Sirius Red sob luz polarizada para avaliação da neoformação óssea, maturação e organização das fibras colágenas. A comparação entre os grupos foi realizada por meio do teste t de Student para amostras pareadas ( $p < 0,05$ ).

**Resultados:** Foram realizados 28 enxertos de seio maxilar e instalados 54 implantes dentários. A análise histológica evidenciou trabéculas de tecido ósseo neoformado em íntimo contato com a superfície do biomaterial, com maior espessura no GC. As fibras colágenas no GC, apresentaram maior birrefringência, indicando maior espessura e organização em comparação ao GT. A histomorfometria demonstrou diferenças significativa na porcentagem de osso neoformado entre os grupos 4 meses (20,02% +/- 5,97) e 8 meses (28,22% +/- 6,29;  $p < 0,001$ ), assim como na porcentagem de biomaterial remanescente (GT: 39,12% +/- 8,15; GC: 31,65% +/- 8,70;  $p = 0,005$ ). A porcentagem dos tecidos moles manteve-se estável entre os grupos.

**Conclusão:** O período de cicatrização de 8 meses resultou em um aumento significativo na formação e maturação do tecido ósseo, sugerindo que este intervalo de tempo otimiza a qualidade do enxerto ósseo ao utilizar o substituto bovino sinterizado. As diferenças observadas destacam a influência do tempo de cicatrização na relevância na maturação e na organização tecidual, podendo ser relevante para a tomada de decisão clínica ao momento ideal para a instalação dos implantes.

**Palavras-chave:** Elevação do assoalho do seio maxilar; Substitutos Ósseos; Enxerto Xenógeno; Implantes dentários; Reabilitação

## ABSTRACT

**Introduction:** The use of sintered bovine bone biomaterials for maxillary sinus grafting promotes the formation of viable bone tissues, increasing bone height, density, and bone-to-implant contact surface. These factors contribute to osseointegration and long-term survival of dental implants. However, the optimal healing time for implant placement in areas grafted exclusively with this biomaterial remains unclear.

**Objective:** To compare the effects of two distinct healing periods (4 and 8 months) on bone formation following maxillary sinus floor elevation surgeries using sintered bovine bone grafts through histological and histomorphometric analyses.

**Materials and Methods:** Fourteen participants with bilateral edentulism in the posterior maxilla were included and randomized into two groups with healing periods of 4 and 8 months, using a split-mouth design. Maxillary sinus grafting was performed at the beginning of the study (month 0) in the Control Group (CG) and after 4 months in the Test Group (TG). At the eighth month of healing, bone samples were collected and subjected to histomorphometric analysis to quantify the percentages of newly formed bone, residual biomaterial, and soft tissues. Hematoxylin-eosin and Sirius Red staining under polarized light were used to evaluate bone formation, maturation, and collagen fiber organization. Comparison between the groups were performed using the paired Student's t-test ( $p < 0.05$ ).

**Results:** A total of 28 maxillary sinus grafts were performed, and 54 dental implants were placed. Histological analysis revealed trabecular newly formed bone tissue in close contact with the biomaterial surface, with greater thickness observed in the CG. Collagen fibers in the CG exhibited greater birefringence, indicating increased thickness and organization compared to the TG. Histomorphometric analysis demonstrated a significant difference in the percentage of new bone formation between the 4-months group (20.02 ± 5.97%) and 8-month group (28.22 ± 6.29%;  $p < 0,001$ ), as well as in the percentage of residual biomaterial (TG: 39.12 ± 8.15%; CG: 31.65 ± 8.70%;  $p = 0.005$ ). The proportion of soft tissues remained stable between groups.

**Conclusion:** The 8-month healing period resulted in a significant increase in bone tissue formation and maturation, suggesting that this interval optimizes the quality of grafted bone when using sintered bovine bone substitute. The observed differences highlight the influence of healing time on bone graft maturation and tissue organization, which may be relevant for clinical decision-making regarding the timing of implant placement.

**Keywords:** Sinus lift; Bone substitute; Xenograft; Dental implants; Rehabilitation.

## INTRODUÇÃO

A perda dentária na região posterior da maxila desencadeia alterações fisiológicas que podem comprometer a instalação de implantes osseointegrados devido à reabsorção óssea e à pneumatização do seio maxilar (1). Para contornar essa limitação, diversas estratégias cirúrgicas têm sido propostas, incluindo a elevação do assoalho do seio maxilar (2); uso de implantes curtos (3); implantes inclinados (4); e implantes zigomáticos (5). Todas essas abordagens demonstram altas taxas de sucesso em reabilitações implantossuportadas (6).

Entre essas alternativas, a elevação do assoalho do seio maxilar é amplamente empregada para aumentar a altura óssea na região posterior da maxila, possibilitando a instalação de implantes dentários (3, 5, 7-11). Duas técnicas cirúrgicas são descritas para essa intervenção: a técnica da janela lateral, introduzida por Tatum (1977), e posteriormente publicada por Boyne (1980) (12,13), e a técnica transalveolar, proposta por Summers em 1996 (14). Quando a altura vertical do rebordo alveolar residual é inferior a 6mm, a técnica da janela lateral é recomendada (15,16). Esse procedimento consiste na realização de uma osteotomia na parede lateral do seio maxilar, permitindo o deslocamento da membrana Schneider e a posterior inserção de enxerto ósseo no espaço criado. O enxerto desempenha um papel fundamental na estabilização do coágulo e na manutenção do volume ósseo, favorecendo a neoformação óssea durante o período de osseointegração (17).

Diversos tipos de biomateriais podem ser utilizados para esse fim, incluindo osso autógeno, aloenxertos, sintéticos e substitutos ósseos de origem bovina. Estes últimos são amplamente empregados devido a sua capacidade osteocondutora e biocompatibilidade, proporcionando suporte à regeneração tecidual e contribuindo para a manutenção da membrana sinusal elevada (18, 19). Dependendo do tipo de enxerto utilizado, após períodos de cicatrização de 4 ou 8 meses, pode-se obter altura óssea suficiente para a instalação de implantes, viabilizando uma reabilitação implantossuportada subsequente (20).

Revisões sistemáticas sugerem que as taxas de sobrevivência dos implantes instalados em áreas enxertadas com osso xenógeno são semelhantes às áreas enxertadas com osso autógeno particulado (21, 22).

O uso de enxertos xenógenos no procedimento de elevação do assoalho do seio maxilar está amplamente documentada em estudos clínicos, histológicos e histomorfométricos (23-26), há uma escassez de estudos quanto ao tempo ideal de cicatrização para a instalação de implantes em áreas enxertadas exclusivamente com biomateriais de origem bovina submetidos a sinterização (27, 28). A duração do período de cicatrização pode influenciar significativamente a quantidade e a qualidade do osso neoformado impactando diretamente a previsibilidade dos implantes osseointegrados (29, 30).

Diante disso, este ensaio clínico randomizado, baseado no modelo de boca dividida, teve como objetivo comparar os efeitos de dois tempos distintos de cicatrização (4 e 8 meses) na neoformação óssea após a elevação do assoalho do seio maxilar utilizando enxerto ósseo xenógeno sinterizado, por meio de análises histológica e histomorfométrica.

A hipótese do estudo espera-se que um período de cicatrização mais prolongado (8 meses) após a elevação do assoalho do seio maxilar com enxerto ósseo xenógeno sinterizado resulte em uma melhor qualidade, quantidade e volume de osso neoformado promovendo um ambiente mais favorável para a instalação de implantes dentários, quando comparado a um período de cicatrização mais curto (4 meses).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo clínico prospectivo randomizado, com modelo de boca dividida, foi conduzido de acordo com as diretrizes do *Consolidated Standards of Reporting Trials* (CONSORT). O protocolo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade ILAPEO, registrado na Plataforma Brasil sob o número # 4.894.128 (agosto de 2021), CAAE 4687542.4.0000.9427

As etapas clínicas foram realizadas na Clínica de Implantodontia da Faculdade ILAPEO, Curitiba-Paraná, entre setembro de 2021 e julho de 2022. Todos os pacientes participantes foram informados detalhadamente sobre os objetivos e procedimentos do estudo, tanto verbal quanto por escrito, recebendo esclarecimentos adequados e, se compreendido o teor do trabalho e em concordância com os termos estabelecidos, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

### **Seleção do paciente e tamanho da amostra**

Foram selecionados 14 pacientes de ambos os sexos, tendo como critérios de inclusão: edentulismo bilateral na região posterior da maxila, com altura de rebordo alveolar inferior a 6mm, idade entre 30 e 80 anos, e indicação cirúrgica para elevação do assoalho do seio maxilar, sem obliterações do complexo osteomeatal.

Os critérios de exclusão abrangeram: condições sistêmicas comprometidas, tabagistas ou ex fumantes há menos de 10 anos, uso contínuo de álcool ou drogas, gravidez ou lactantes, histórico de radioterapia de cabeça e pescoço, uso de bifosfonatos ou imunossupressores, distúrbios plaquetários, diabetes não controlada, sinusite crônica, presença de patologias sinusais, e/ou remanescentes dentários no seio maxilar.

O tamanho da amostra foi calculado usando o módulo *Power and Sample Size* do software Stata/SE v.14.1. (StataCorpLP,EUA). O cálculo foi baseado nos dados reportados por Zhang et al. (2019) (31), com o objetivo de detectar diferenças significativas entre os dois tratamentos (cicatrização em 4 e 8 meses) quanto ao percentual de osso neoformado, residual do biomaterial e tecidos moles. Considerando uma diferença média entre os dois tratamentos igual a 5,40% com desvio padrão de 5,48%, nível de significância de 0,05 e poder do teste igual a 90%, foram necessários 13 pares de casos para detectar diferença significativa entre os grupos.

## **Randomização**

Os seios maxilares dos pacientes foram randomicamente alocados em dois grupos: Grupo Teste (GT) com tempo de cicatrização de 4 meses e Grupo Controle (GC) com tempo de cicatrização de 8 meses, utilizando um modelo de boca dividida. A randomização foi realizada por um programa de computador (Microsoft Excel RAND), de modo que cada paciente foi considerado uma unidade experimental representando seu teste e próprio controle.

## **Procedimento cirúrgico do enxerto de seio maxilar**

Previamente à cirurgia, foram realizadas tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC) para avaliar a anatomia do seio maxilar, o volume ósseo residual e a presença de obliterações do complexo osteomeatal. Todas as cirurgias foram realizadas por um único cirurgião experiente (RPF), em dois momentos distintos de cicatrização 4 e 8 meses. Os enxertos de seio maxilar foram realizados no início do estudo (mês 0) para o Grupo Controle (GC) e após 4 meses para o Grupo Teste (GT).

Os pacientes foram medicados com antibióticos (Amoxicilina 875mg + Clavulanato potássio 125 mg), duas vezes ao dia durante 7 dias, iniciando a dosagem 24 horas antes do procedimento). Momentos antes da cirurgia realizou-se uma anti-sepsia intra-oral com solução de clorexidina 0,12%, em bochecho durante 1 minuto. A anti-sepsia extra oral foi realizada com gaze estéril embebida em sabão de clorexidina a 2%, aplicado na pele nos dois terços inferiores da face.

O procedimento cirúrgico teve início com anestesia local infiltrativa (Articaína 4% com epinefrina 1:100.000; DFL Rio de Janeiro). Lâmina de bisturi descartável 15c (Swann Morton®. Reino Unido) acoplada a cabo de bisturi reto foi utilizada para executar uma incisão sobre a mucosa queratinizada que recobria a crista óssea do rebordo alveolar, seguidas por duas incisões verticais relaxantes divergentes na mesial e distal do retalho, permitindo a elevação de um retalho mucoperiosteal com o descolador #24G (Hu-Friedy®. Pensilvania EUA) para expor

a parede lateral do seio maxilar. Utilizando uma broca esférica diamantada nº 6, montada em uma peça de mão angulada multiplicadora 2:1 (Kavo do Brasil, Joinville -SC, Brasil), com irrigação abundante de água para injeção, realizou-se osteotomia para criar acesso ao seio maxilar através de uma janela lateral, seguindo a técnica descrita por Boyne (1980) (13). A osteotomia teve início a 3 mm acima do assoalho do seio e 2mm posterior à parede anterior. Dependendo da anatomia do seio maxilar foi realizada uma ou duas janelas em casos de septos presentes ou seios volumosos.

Após a osteotomia, a membrana sinusal, foi observada, mantendo o remanescente de osso cortical ao centro. Com o auxílio de curetas específicas para o levantamento de seio (Kit Curetas SLA, IM3, São Paulo, Brasil), a membrana Schneideriana foi cuidadosamente descolada e elevada para o interior da cavidade do seio. O espaço resultante da elevação da membrana foi preenchido pelo substituto ósseo xenógeno sinterizado (Cerabone® -Straumann, Suíça), contendo grânulos de tamanho de 1-2mm, hidratado com soro fisiológico, cuidadosamente inserido nas regiões posterior, medial e anterior do seio maxilar, preenchendo integralmente a cavidade e evitando a compactação excessiva.

Simultaneamente, uma membrana reabsorvível de colágeno nativo, proveniente do pericárdio suíno (Jason – Straumann, Suíça) foi posicionada na parte externa da parede lateral do seio e fixada com tachinhas (Kit Strong TAC, IM3, São Paulo-Brasil). Após o procedimento, o retalho foi reposicionado e suturado sem tensão com fio monofilamentar (Mononylon® 5-0. Ethicon®, New Jersey, EUA) (Figura 1).

Logo após o procedimento, iniciaram a medicação pós-operatória com anti-inflamatório (Ibuprofeno 600 mg, 3 vezes ao dia durante 3 dias) e analgésico (Paracetamol 750 mg, 4 vezes ao dia, durante 2 dias). Instruções pós-operatórias foram fornecidas a todos os pacientes, e as suturas foram removidas entre 10 e 14 dias após o procedimento cirúrgico. Durante todo o período de cicatrização óssea, a área cirúrgica permaneceu livre de carga direta das próteses

provisórias sobre os tecidos. Os pacientes foram submetidos a exames clínicos de acompanhamento pós-operatório semanais durante o primeiro mês e mensais até o oitavo mês, previamente à coleta das biópsias e instalação dos implantes.

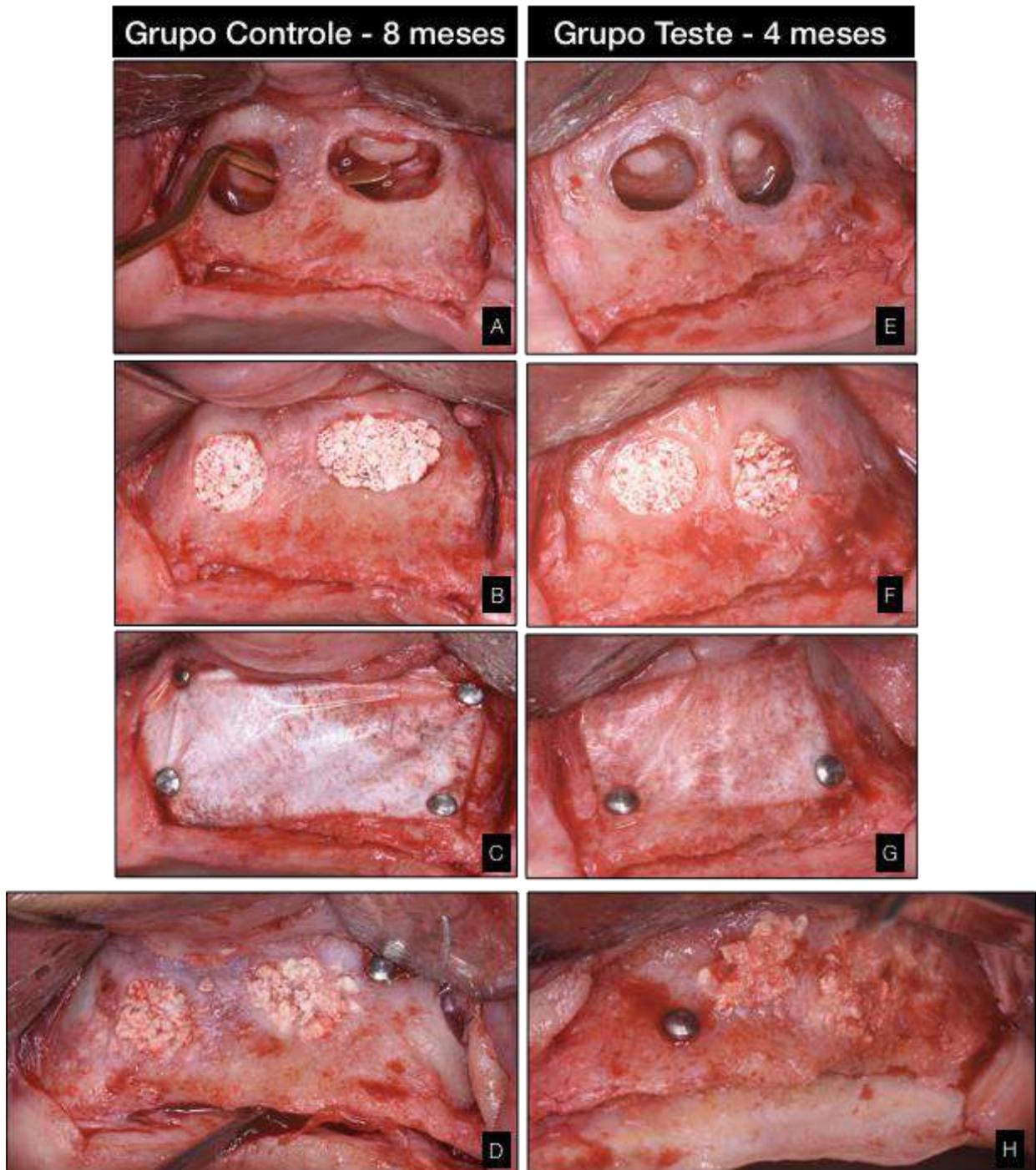


Figura. 1. Imagens clínicas representativas do procedimento de enxerto de seio maxilar com substituto ósseo xenógeno sinterizado e membrana reabsorvível em dois tempos diferentes de cicatrização, 4 e 8 meses. (A e E) Fotografias obtidas após a realização da osseotomia da janela lateral e elevação da membrana sinusal; (B e F) enxerto ósseo com partículas de enxerto xenógeno sinterizado; (C e G) demonstração da adaptação da membrana reabsorvível fixada com tachinhas para assegurar a estabilidade da membrana; (D e H) imagens ilustram a condição do enxerto após abertura de 4 e 8 meses respectivamente, destacando a densidade e compactação do osso enxertado, apresentando sangramento entre as partículas do enxerto.

### **Coleta de biópsia**

Após 8 meses de cicatrização da elevação do assoalho do seio maxilar, foi realizada uma nova TCFC para identificar os locais apropriados para a coleta das amostras ósseas e para planejar a instalação dos implantes. O procedimento seguiu rigorosamente os mesmos protocolos de assepsia interna e externa, anestesia, incisão no topo do rebordo e elevação da mucosa realizados na etapa inicial do protocolo cirúrgico do enxerto de seio. As amostras ósseas foram coletadas utilizando uma broca trefina (Neodent®, Curitiba, Brasil) de 3,5mm diâmetro interno e 4,2mm de diâmetro externo, com comprimento de 17mm, acoplada ao contra ângulo redutor 20:1 (Kavo do Brasil, Joinville -SC, Brasil). Foram obtidos de um a dois cilindros de amostras ósseas das áreas enxertadas, precisamente nos locais planejados para a instalação dos implantes. Para cada paciente, foi selecionada a amostra de melhor qualidade de modo que cada participante forneceu uma única biópsia para análise, independentemente do número de cilindros coletados. As amostras foram coletadas em espessura total, abrangendo desde o rebordo da crista alveolar até a altura da membrana sinusal do assoalho do seio, incluindo tanto o osso alveolar residual quanto o osso enxertado (Figura 2).

Para a reabilitação dos participantes do estudo, foram instalados implantes Grand Morse Helix® (Neodent®, Curitiba-PR, Brasil) com diâmetros de 5,0mm e comprimento variando de 8,5 a 13mm, instalados neste momento cirúrgico (Figura 2 e 3).

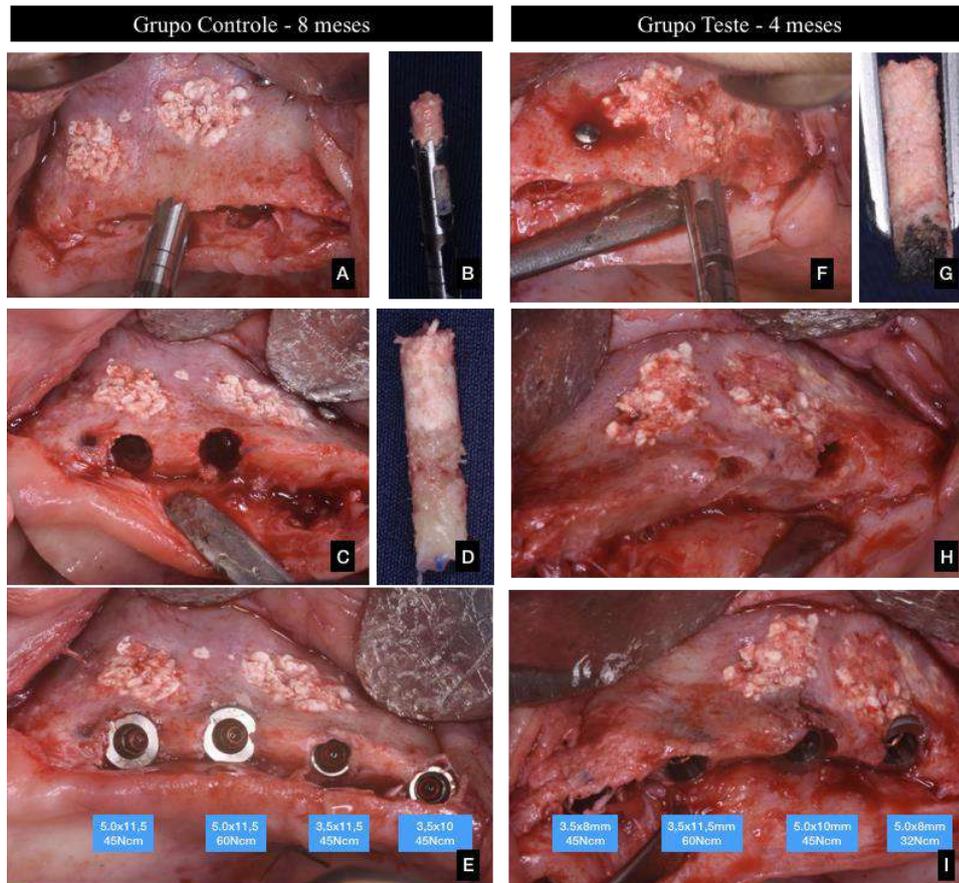


Figura. 2. Imagem representativa do procedimento de coleta de biópsia óssea (A-F). Sequência demonstrando o posicionamento da trefina para a obtenção da amostra óssea, seguindo uma orientação corono-apical em ambos os grupos (A-D e F-H). Amostra óssea coletada pela trefina no grupo C (B e D). Amostra óssea coletada pela trefina no grupo T (G). Evidência da qualidade das amostras, destacando o osso residual na extremidade inferior e a integridade do substituto ósseo xenógeno sinterizado na porção superior das amostras (D e G). Instalação dos implantes nos locais de coleta das amostras, com implante de 5,0mm de diâmetro, devido ao diâmetro externo da trefina (4,2mm). A macro e microgeometria dos implantes proporcionaram um alto torque de inserção, variando entre 45 a 60Ncm nas áreas enxertadas (E e I).

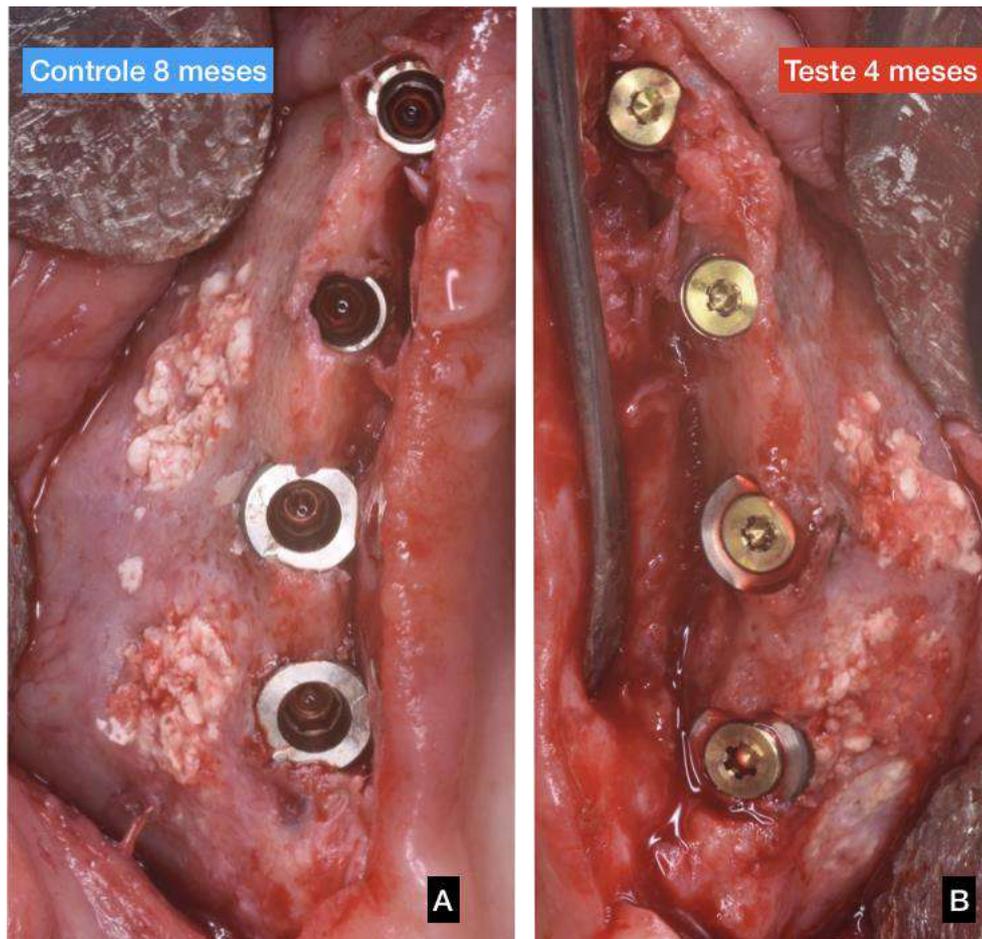


Figura 3: As imagens (A-B), fornecem uma visão comparativa do processo de cicatrização em dois momentos distintos após a realização da elevação do assoalho do seio maxilar com substituto ósseo xenógeno sinterizado e membrana de colágeno no mesmo paciente. No lado direito (A) da maxila, a imagem retrata a cicatrização após um período de 8 meses, enquanto no lado esquerdo (B), observamos a cicatrização após 4 meses. Ambas as imagens revelam uma notável integração das partículas de substituto ósseo numa matriz de osso neoformado. Clinicamente, a presença de sangramento em ambas as imagens demonstra a vitalidade do enxerto em ambas as fases de cicatrização, sem diferença clínica notável entre o grupo controle e o teste.

Durante a instalação dos implantes, o torque de inserção foi mensurado por torquímetro manual (Neodent®, Curitiba-PR, Brasil). Os parafusos de cobertura foram aparafusados nos implantes, e o retalho foi reposicionado e suturado, mantendo os implantes na cicatrização submersa. Os pacientes foram devidamente orientados quanto à medicação e cuidados pré e pós-operatórios. Seis meses após a instalação dos implantes, os pacientes foram submetidos à reabertura para exposição dos implantes ao meio bucal, seleção e instalação de componentes protéticos e reabilitação oral com próteses sobre implantes. A taxa de sobrevivência dos implantes foi avaliada após 1 ano da reabilitação oral. A sobrevivência do implante foi definida como ausência da perda do implante a cada acompanhamento.

### **Análise histológica e histomorfométrica**

Das 28 amostras coletadas, duas foram descartadas devido à dificuldade de interpretação, resultando em um total de 26 amostras, (13 no Grupo Controle - GC e 13 no Grupo Teste -GT). As análises histológicas e histomorfométricas foram conduzidas às cegas por um morfolologista experiente (SCR), sem conhecimento prévio da alocação dos grupos experimentais. Para garantir o cegamento, todas as amostras foram codificadas previamente, e os códigos foram revelados apenas após a conclusão da análise.

As amostras biológicas foram imersas e fixadas em solução de formaldeído tamponada 10%, pH 7,4) por um período mínimo de 48 horas e, posteriormente submetidas ao processo de descalcificação à temperatura ambiente por 8 a 10 horas, utilizando uma solução contendo 0,7 g/L de EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético, Sigma-Aldrich, USA), 8 mg/L de tartarato de sódio e potássio, 99,2 mL/L de HCl e 0,14 g/L de tartarato de sódio durante 40 dias (32). Após a descalcificação, as amostras foram lavadas em água, desidratadas gradativamente em solução crescente de álcool etílico (70%, 90% e 100%), diafanizadas em xileno (Sigma-Aldrich, USA), reidratadas em concentrações decrescentes de álcool (100%, 90%, 75%) e, embebidas em parafina (Paraplast®, Sigma-Aldrich, USA) a 60 °C.

Secções histológicas finas com 5 µm de espessura foram obtidas utilizando um micrótomo (Leica, Alemanha) seguindo um plano paralelo à região do remanescente ósseo residual ao enxerto ósseo. A identificação da superfície do osso residual foi realizada através da aplicação de tinta nanquim no momento da coleta das amostras ósseas. As secções seriadas montadas em lâminas histológicas e submetidas à coloração com Hematoxilina e Eosina (H&E) ou Sirius Red-F3B e Hematoxilina, seguindo o protocolo descrito por Montes (1996) (33).

#### **Processamento histológico**

Para a coloração por H/E, as secções foram submetidas a dois banhos de xilol (Sigma-Aldrich, EUA), sendo o primeiro a 60–55°C por 5 minutos e o segundo à temperatura ambiente

por 20 minutos. Posteriormente foram reidratadas em concentrações decrescentes de etanol (100% a 70%), lavadas em água corrente e imersas por 30 segundos em solução de hematoxilina a 1% (Sigma-Aldrich, EUA), seguidas de nova lavagem. Em seguida, as lâminas foram imersas em eosina a 0,5% (Sigma-Aldrich, EUA) por 2 minutos, lavadas em água corrente, submetidas a concentrações crescentes de álcool (70% a 100%), finalizando com um banho de álcool/xilol (1:1) por 5 minutos. Após a secagem, as lâminas foram montadas com Enthelan® (Sigma-Aldrich, EUA).

Para a coloração por SR, as seções foram submetidas a dois banhos de xilol, seguidos de reidratação em concentrações decrescentes de etanol (100% a 70%). Posteriormente, foram imersas por 15 a 30 minutos em solução de Vermelho de Sirius a 1% (Sigma-Aldrich, MO, EUA), lavadas em água corrente, as lâminas foram secas e contracoradas com uma solução de hematoxilina azul a 3% (Sigma-Aldrich, EUA). Após a secagem, as lâminas foram montadas com Enthelan® (Sigma-Aldrich, EUA).

As lâminas coradas com H&E foram digitalizadas utilizando uma lente objetiva de 20x no sistema Aperio CS Leica® (Danaher, Alemanha) permitindo a captura de imagens de alta resolução para análise digital. Para a visualização e caracterização de fibras colágenas, as seções das amostras histológicas foram coradas com Sirius Red-F3B e Hematoxilina e foram examinadas e capturadas digitalmente com lentes objetivas de 20 e 40x, sob luz convencional e polarizada, utilizando o microscópio direto Nikon Eclipse E800® (Nikon, Japão) acoplado à câmera P6FL® Profluorescence (Optika, Itália).

A análise histomorfométrica foi realizada na região correspondente à área enxertada com o biomaterial. Uma área de interesse (ROI -Region Of Interest) de 5x5mm<sup>2</sup> foi selecionada, representando uma região homogênea do enxerto ósseo. Dentro dessa ROI, foram identificadas e segmentadas as seguintes estruturas:

1. Osso neoformado: áreas com tecido ósseo recém-formado,

2. Biomaterial remanescente: partículas do substituto ósseo que não foram reabsorvidas
3. Tecidos moles ou medula óssea: área de tecido conjuntivo ou espaços medulares

Utilizando ferramentas específicas do software de análise digital, as áreas relativas a cada estrutura foram quantificadas. Com base nessas medições, foi calculado o percentual de cada estrutura dentro da ROI, permitindo a comparação dos padrões de cicatrização entre os grupos teste e controle.

### **Análise estatística da histomorfometria**

Cada paciente foi considerado como uma unidade experimental, com um lado representando o GT e o outro como controle. Os resultados foram apresentados por meio de estatística descritiva incluindo média, desvio-padrão, mediana, máximo e mínimo (Tabela 1). As análises histomorfométricas incluíram a quantificação das porcentagens de tecido ósseo neoformado, biomaterial remanescente e tecidos moles. As diferenças entre os períodos de cicatrização de 4 e 8 meses foram avaliadas utilizando o teste t de Student para amostras pareadas, sendo consideradas estatisticamente significativa ( $p < 0,005$ ). Os dados foram organizados em uma planilha Excel® e analisados com o software IBM SPSS Statistics v.29.0. As variáveis quantitativas foram descritas por média, desvio padrão, mediana, e os valores mínimo e máximo, enquanto as variáveis categóricas foram expressas em frequência absolutas e percentuais.

## **RESULTADOS**

Quatorze pacientes com edentulismo bilateral na região posterior da maxila foram incluídos neste estudo clínico, sendo 10 mulheres e 4 homens, com idades variando de 32 a 77 anos (média 52,9 desvio padrão 16,1 e mediana 48,5). Todos os pacientes foram submetidos a

elevação do assoalho do seio maxilar bilateralmente. O enxerto de cada seio maxilar foi realizado exclusivamente com um substituto ósseo bovino sinterizado (Cerabone Straumann-Suíça), associado a uma membrana colágena (Jason, Straumann, Suíça).

Os pacientes foram randomizados em dois grupos de acordo com o tempo de cicatrização: Grupo teste (GT): 4 meses e Grupo controle (GC): 8 meses, utilizando um modelo de boca dividida.

Complicações cirúrgicas foram observadas em dois pacientes do GC, ambos apresentando uma pequena perfuração da membrana Schneider em um dos seios maxilares. O tratamento consistiu na aplicação de uma membrana de colágeno sobre a área perfurada, visando a obliteração, permitindo a regeneração sem comprometimento do enxerto e instalação dos implantes.

Após 1 ano de carga funcional, a taxa de sobrevivência dos implantes foi de 98,1%, com apenas um implante perdido no GC, antes da instalação da prótese. Os pacientes com edentulismo total foram reabilitados com prótese do tipo protocolo híbrida, enquanto aqueles edentulismo parcial receberam próteses fixas metalo-cerâmicas.

Dos 14 pacientes inicialmente incluídos no estudo (28 seios maxilares), um paciente foi excluído da análise histomorfométrica devido a qualidade inadequada da amostra. Assim, as análises foram conduzidas em 13 pacientes, totalizando 26 amostras ósseas (13 do GC e 13 do GT), todas consideradas adequadas para avaliação.

### **Análise histológica**

A avaliação histológica qualitativa revelou a presença de tecido ósseo neoformado trabecular, localizado tanto no interior da rede de poros interconectados do biomaterial ou adjacente das áreas de biomaterial, associado a tecidos moles e partículas remanescentes do

material enxertado. Essas características foram observadas em amostras analisadas após 4 e 8 meses de cicatrização das cirurgias de enxerto do seio maxilar.

As biópsias do GC apresentaram áreas mais extensas de tecido ósseo em comparação com o GT (Figura 4). As áreas de tecido ósseo neoformado trabecular eram estreitas e variavam em tamanho, apresentando células de revestimento ósseo, osteoblastos e osteócitos. Adicionalmente, foram observadas áreas contendo osteoclastos na interface entre biomaterial e tecido mole, em ambos os grupos (Figura 4, B-D; F-H). O tecido ósseo neoformado encontrava-se em contato direto com o biomaterial, enquanto osteoclastos foram ocasionalmente identificados próximos às trabéculas ósseas em ambos os grupos (Figura 4G). Os espaços medulares eram preenchidos por tecido conjuntivo, que variava entre frouxo a denso não modelado, sem sinais evidentes de processo inflamatório ativo em nenhuma das amostras analisadas.

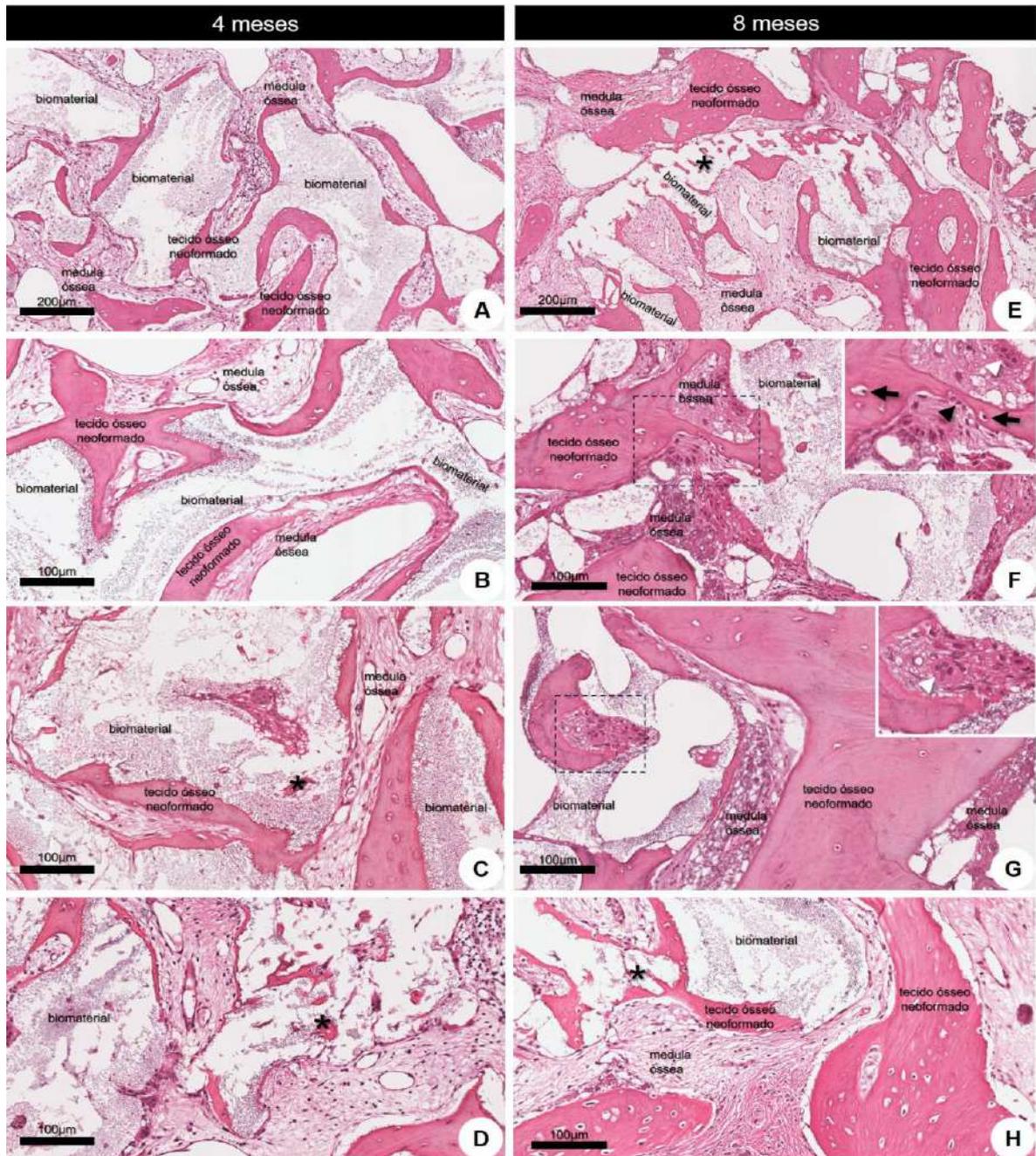


Figura 4: Fotomicrografias representativas de secções longitudinais de biópsias após 4 (A-D) e 8 (E-F) meses de enxertia. (A e E) Observe, em menor aumento, as áreas de trabéculas de tecido ósseo neoformado ao redor de áreas de biomaterial ou preenchidas por medula óssea. Compare a diferença entre a espessura dessas trabéculas ósseas entre as biópsias após 4 e 8 meses de enxertia. (B-D; F-H) Note, em maior aumento, o biomaterial de aspecto floculado com núcleo de osteócitos (seta preta) dentro de delgadas trabéculas de tecido ósseo neoformado. Veja, em plano de corte transversais, essas trabéculas permeando o interior da região onde se encontra o biomaterial (asterisco). Na área de interface da medula óssea com a trabécula óssea, analise a presença das *bone lining cells* e dos osteoblastos (cabeça de seta preta), bem como dos osteoclastos (cabeça de seta branca). Observe, qualitativamente, que nas biópsias de 8 meses de enxertia, as trabéculas de tecido ósseo neoformado apresentam espessura maior que a de 4 meses de enxertia. Além disso, em ambos os grupos de estudo, não foram encontradas lacunas, da área de enxerto, sem núcleo de osteócito. Coloração de Hematoxilina e Eosina (H&E). Barra de escala A e E = 200 µm; B-D; F-H = 100 µm

A análise sob luz polarizada revelou que as fibras colágenas apresentaram birrefringência, uma propriedade óptica que modula a direção da luz polarizada. Essa característica permitiu a avaliação da quantidade, densidade e grau de organização das fibras colágenas. A presença de áreas birrefringentes foi observada nas trabéculas ósseas neoformadas em ambos os grupos (Figura 5). Qualitativamente, o GC exibiu birrefringência mais intensa na cor verde, sugerindo um estágio mais avançado do processo de cicatrização, com maior densidade, organização e orientação das fibras colágenas. Notavelmente, foram identificadas estruturas colágenas projetando-se perpendicularmente às trabéculas ósseas neoformadas, estendendo-se em direção ao tecido medular (Figura 5).

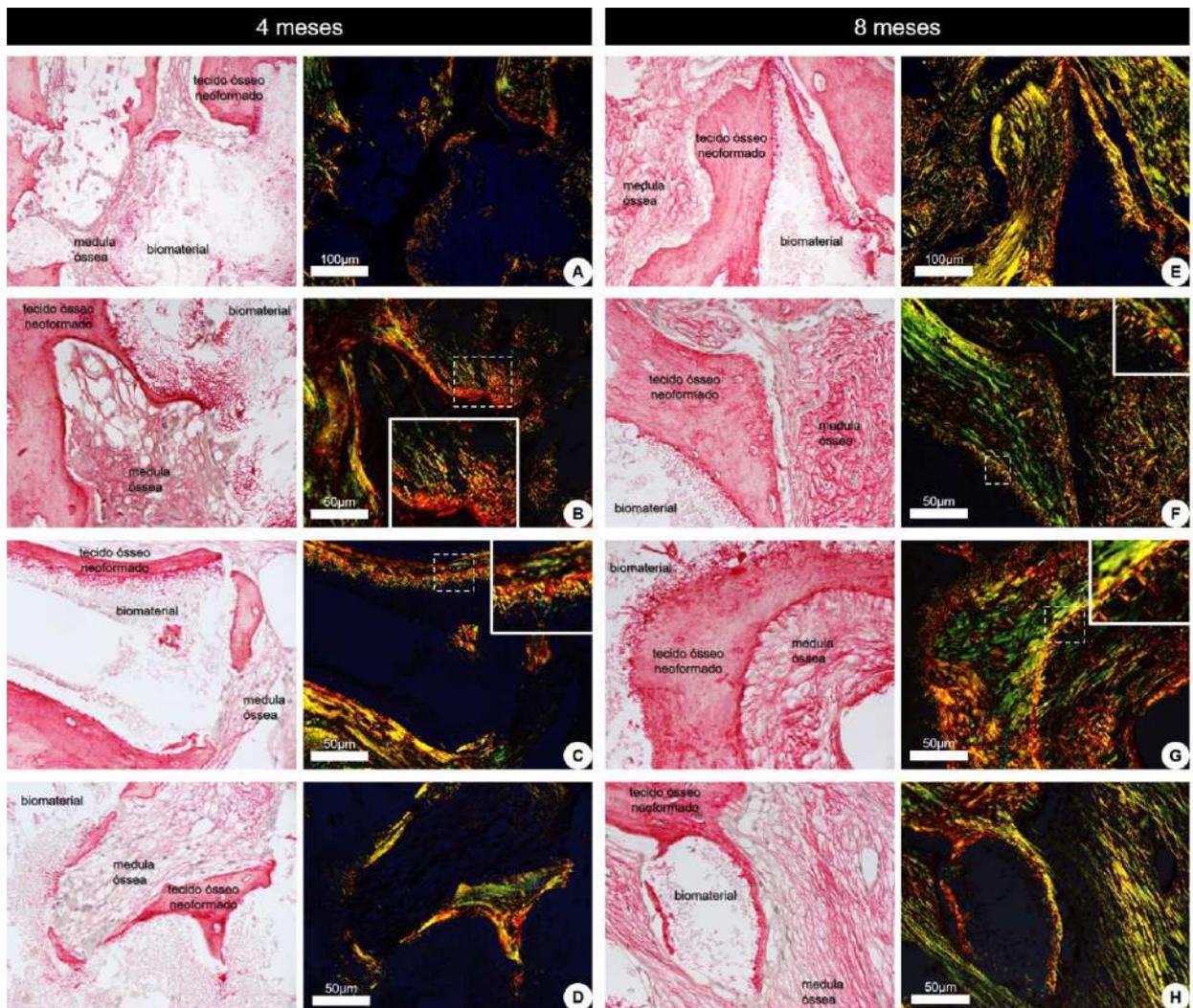


Figura 5: Fotomicrografias representativas de seções longitudinais de biópsias após 4 (A-D) e 8 (E-F) meses de enxertia sob luz convencional (painel à esquerda) e luz polarizada (painel à direita). (A e E) Observe, em menor aumento, as áreas de trabéculas de tecido ósseo neoformado ao redor de áreas de biomaterial ou preenchidas por medula óssea. (B-D; F-H) Note, em maior aumento, a organização das fibras colágenas no tecido ósseo neoformado nas biópsias de 4 e de 8 meses de enxertia. Sob luz polarizada, as áreas birrefringentes refletem a quantidade, a organização e heterogeneidade da orientação das fibras colágenas. Nesse contexto, observa-se um aumento progressivo da espessura da fibra colágena ao transitar das tonalidades laranja e vermelho para o amarelo e, ao verde, onde está associada ao colágeno maduro. As áreas escuras apresentam ausência de organização colágena. Coloração de Sirius Red e Hematoxilina. Barra de escala A e E = 100 µm; B-D; F-H = 50 µm.

### Análise Histomorfométrica

Os resultados da análise histomorfométrica estão apresentados na Tabela 1 e no Gráfico 1. A análise estatística revelou diferenças estatisticamente significativas nos percentuais de tecido ósseo neoformado e biomaterial residual entre os grupos. No entanto, não foram observadas diferenças significativas na proporção de tecidos moles. O GC (8 meses) apresentou um aumento na quantidade de tecido ósseo neoformado e uma redução na porcentagem de biomaterial residual em comparação com o GT (4 meses). Já a porcentagem dos tecidos moles permaneceu estatisticamente semelhante entre os grupos.

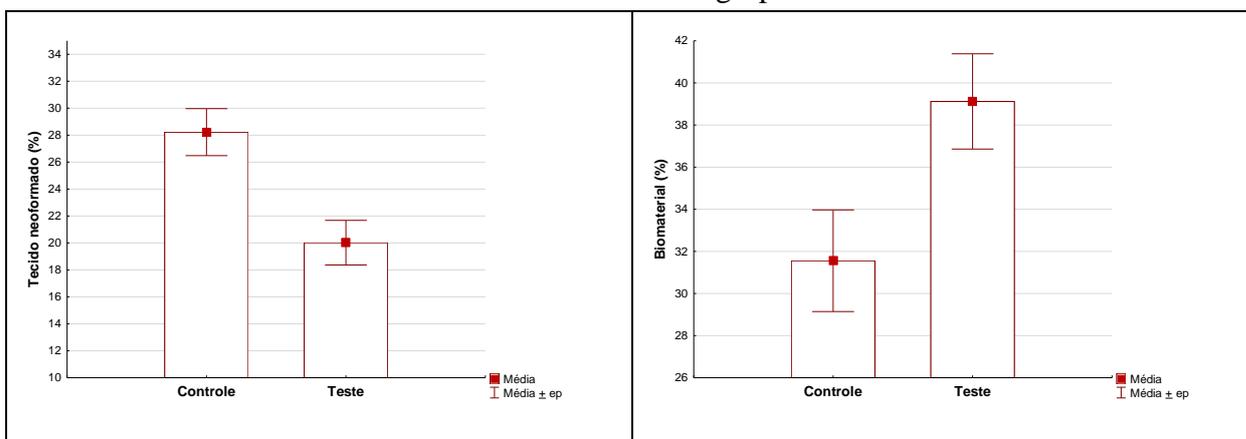
TABELA 1. Resultados histomorfométricos após 4 e 8 meses de cicatrização para os GC e GT.

Variável	Grupo	n	Média	DP	Mediana	Min	Max	Dif média (contr-teste)	p*
Tecido ósseo neoformado (%)	GT (4m)	13	20,02	5,97	19,79	11,66	36,00	8,20	<0,001
	GC (8m)	13	28,22	6,29	25,25	20,35	41,12		
Biomaterial (%)	GT (4m)	13	39,12	8,15	41,40	26,63	54,27	-7,56	0,005
	GC (8m)	13	31,56	8,70	33,87	6,47	40,21		
Tecidos moles (%)	GT (4m)	13	41,01	6,91	40,89	31,05	51,36	-0,87	0,653
	GC (8m)	13	40,14	8,29	40,22	22,86	59,57		

DP: desvio padrão; m: meses; %: percentual; GC: Grupo Controle; GT: Grupo Teste, Min: mínimo; Max: máxima, Dif: diferença; p\*: p valor

O Gráfico 1 apresenta os resultados das porcentagens das medidas histomorfométricas, das áreas de osso neoformado e biomaterial entre os grupos. No GC uma diferença significativa na porcentagem de tecido ósseo neoformado, ( $p < 0,005$ ) com uma redução na proporção de biomaterial no GC em comparação ao GT ( $p = 0,005$ ).

Gráfico 1. Análise histomorfométrica da porcentagem de tecido ósseo neoformado e residual de biomaterial entre os grupos.



O gráfico mostra uma diferença significativa na porcentagem de tecido ósseo neoformado no GC (8 meses) em comparação ao GT (4 meses) ( $p = 0,005$ ), com redução na proporção de biomaterial residual no GC ( $p = 0,005$ ).

## DISCUSSÃO

Diversos biomateriais têm sido utilizados como alternativa ao enxerto ósseo autógeno para a elevação do assoalho do seio maxilar, visando promover a regeneração óssea e o aumento volumétrico necessário para instalação de implantes (34). Embora o enxerto autógeno seja considerado o padrão-ouro devido à suas propriedades osteogênicas, osteoindutoras e osteocondutoras (35, 36), biomateriais como o osso bovino mineral desproteinizado sinterizado apresentam propriedades osteocondutivas semelhantes ao osso trabecular humano. Sua estrutura tridimensional com uma rede de poros interconectados, superfície rugosa e hidrofílica, favorecem a adesão de proteínas sanguíneas e a migração de células osteogênicas, tornando-o uma alternativa viável (27-29).

Os resultados deste estudo demonstraram que o biomaterial utilizado foi eficaz na manutenção da membrana sinusal elevada, preservando as dimensões físicas do enxerto e promovendo sua completa integração em uma matriz de osso neoformado, corroborando os achados de Xu et al. (2004) (37).

Além do sucesso clínicos, evidenciado pela sobrevivência de 98,1% dos implantes após dois anos de acompanhamento, a análise histológica e histomorfométrica forneceu evidências

quantitativas e qualitativas sobre o processo de maturação ósseas. Foram utilizadas técnicas tradicionais de coloração, como a hematoxilina-eosina (HE) para avaliar a arquitetura tecidual e o Sirius Red (SR) para identificar fibras colágenas (38). Apesar das limitações da microscopia de polarização com Sirius Red em comparação com técnicas avançadas, como a imunohistoquímica, essa abordagem se mostrou confiável e eficiente para avaliar a organização, densidade e maturação das fibras colágenas (39).

As diferenças histológicas e histomorfométricas observadas sugerem um grau mais avançado de maturação óssea ao redor das partículas do substituto ósseo bovino sinterizado após 8 meses de cicatrização (GC), reforçando a hipótese inicial do estudo.

A coloração Sirius Red, analisada sob microscopia de luz polarizada, revelou áreas birrefringentes nas trabéculas ósseas neoformadas em ambos os grupos. No GC a birrefringência foi mais intensa, com tonalidades verdes, indicando um padrão de organização das fibras colágenas característico de lamelas ósseas concêntricas, associado a osso maduro. No GT, observou-se um aumento gradual na espessura das fibras colágenas, com transições de tonalidades laranja/vermelho para amarelo, evidenciando uma birrefringência menos intensa e um arranjo fibrilar desorganizado das fibras colágenas, distribuídas em diversas direções, característico de osso imaturo em formação.

Os achados deste estudo estão alinhados com a revisão sistemática de Danish-Sani et al. (2017) (9) que avaliou o efeito do tempo de cicatrização na maturação óssea de diferentes biomateriais em enxertos de seio maxilar, com base em análises histomorfométricas. A análise indicou que tempos de cicatrização superiores a 6,22 meses, resultam em maior formação óssea em comparação com períodos mais curtos ( $\leq 4,5$  meses). No entanto, ao comparar períodos 4,5-9 meses com 9-13,5 meses, não foram observados diferenças significativas. O presente estudo corrobora esses achados, demonstrando que, após 8 meses de cicatrização, há maior densidade, organização e orientação das fibras colágenas, sugerindo um estágio mais avançado de

maturação óssea. Em contraste, aos 4 meses de cicatrização, o osso formado ainda exibe características de imaturidade, indicando que o processo de síntese das fibras colágenas ainda está na fase inicial.

Em um ensaio clínico randomizado, utilizando a metodologia de grupos paralelos, Kohal et al. (2015) (30), avaliaram a mineralização óssea de um substituto ósseo bovino após 3 e 6 meses de cicatrização após o enxerto de seio maxilar. A análiseavaliações histomorfométricas revelou percentuais de osso mineralizado semelhantes entre os grupos de 3 meses (23,8%) e 6 meses (23,6%), ( $p=0,9246$ ), bem como na quantidade de biomaterial residual (35% vs 33,9%;  $p=0,632$ ). Os autores concluíram que a maturação óssea utilizando osso bovino é semelhante após 3 e 6 meses, sugerindo que a instalação dos implantes após 3 meses de cicatrização pós-enxerto de seio é clinicamente aceitável.

No presente estudo, utilizando a metodologia de boca dividida, foi possível detectar uma diferença significativa entre os grupos analisados. As biópsias coletadas com 4 meses de cicatrização apresentaram osso primário, caracterizado por fibras colágenas de baixa densidade e desorganizadas. No entanto, esse padrão cicatricial não comprometeu a instalação precoce dos implantes, pois os torques de inserção foram semelhantes entre os grupos (GT: 35,1Ncm +/-13,9; GC: 38,4Ncm +/- 11,19).

As amostras do GC (8 meses) evidenciaram um padrão ósseo mais maduro, com fibras colágenas mais organizadas. Além disso, foi observada uma redução diferença significativa na porcentagem de biomaterial residual, provavelmente associada à compactação do enxerto, contração pela consolidação do enxerto e re-pneumatização do seio maxilar (36, 40))

As altas taxas de sobrevivência dos implantes em ambos os grupos (98,1%) indicam que o enxerto do seio maxilar com substituto ósseo xenógeno sinterizado é viável para a instalação de implantes tanto aos 4 meses quanto como 8 meses de cicatrização. Embora tenham sido identificadas diferenças histológicas no processo de maturação óssea, entre os dois períodos, os

torques de inserção dos implantes não apresentaram diferenças estatisticamente significativas. Todos os implantes tiveram um período de osseointegração de 6 meses e em seguida foi iniciado a fase de reabilitação protética de cada caso.

A decisão de antecipar a instalação dos implantes após apenas 4 meses de cicatrização do enxerto do seio maxilar é influenciada por diversos fatores críticos. A quantidade e qualidade do osso residual, juntamente com a geometria, design e tratamento de superfície dos implantes, são determinantes fundamentais para alcançar um torque de inserção adequado e estabilidade inicial eficaz, fatores essenciais para garantir maiores taxas de sucesso e sobrevida dos implantes (Raegobar). A escolha pela instalação precoce do implante, durante a fase de maturação do enxerto, que geralmente ocorre por volta do quarto mês, pode proporcionar benefícios significativos ao paciente. Essa abordagem não apenas estimula a área enxertada, mas também permite que o processo de osseointegração do implante coincida com a maturação do enxerto, que normalmente atinge uma condição viável no oitavo mês de cicatrização. Como resultado, essa estratégia pode reduzir em 4 meses o intervalo entre a fases cirúrgica e protética do tratamento reabilitador, promovendo um ganho clínico para o paciente.

As implicações futuras deste estudo incluem a possibilidade de revisões nos protocolos de cicatrização e instalação de implantes em procedimentos de elevação do assoalho do seio maxilar, sugerindo que 4 meses de cicatrização com o substituto ósseo xenógeno sinterizado seja suficiente para uma osseointegração eficaz. Ensaios clínicos adicionais são necessários para avaliar diferentes biomateriais e otimizar o tempo de cicatrização para os protocolos de reabilitação implantossuportada.

## **CONCLUSÃO**

Os achados histomorfométricos demonstraram um aumento significativo na neoformação e na maturação do tecido ósseo ao longo do tempo, evidenciando uma resposta biológica favorável ao uso do substituto ósseo bovino sinterizado. Comparando os períodos de

4 e 8 meses de cicatrização, observou-se que um intervalo mais longo resultou em maior densidade óssea, organização de fibras colágenas destacando a relevância do tempo na qualidade da regeneração óssea em procedimentos de elevação do assoalho do seio maxilar.

## REFERÊNCIA

1. Adell R, Erikson B, Lekholm U, Branemark PI, Jemt T. Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990;5:347-59
2. Aglahoo, T.L., Misch, C., Lin, G.H., Iacono, V.J., & Wang, H.L. Bone augmentation of the edentulous maxilla for the implant placement: A systematic review. *The Int J Oral & Maxillofac Implants*, 2016 31(Suppl) s19 – s 30.
3. Thoma D.S., Zeltner, M., Husler, J., Hammerle, C. H. F. Jung, R.E. EAO Supplemment Working Group 4 – EAO CC 2015 Short implants versus sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 26(Suppl 11), 154-169
4. Luiz J, Luiz JH, Jarry CR, Sukekava F. Implantes ancorados na tuberosidade maxilar com carga imediata. *Full Dent. Sci.* 2022; 13(50):24-31.DOI: 10.24077/2022;13502461263
5. Esposito, M., Grusovin, M.G., Rees, J., Karasoulos, D., Felice, P., Alissa, R., Coulyard, P. Effectiveness of sinus lift procedures for dental implant rehabilitation: A Cochrane systematic review. *European Journal of Oral Implantology* 2010 3(1), 7-26
6. Del Fabro, M, Testori, T., Francetti, L, Weinstein, R. Systematic review of survival rates for implants in the grafted maxillary sinus. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry* 2004;24:565-577
7. Pjetursson B.E., Tan, W.C., Zwahlen, M., Lang, N.P. 2008. A Systematic review of the success of sinus floor elevation and survival of implants inserted in combination in combination with sinus floor elevation. *Journal of Clinical Periodontol*, 35(8 Suppl), 216-240
8. Corbella, S., Taschieri, S., Del Fabbro, M (2015). Long term outcomes for the treatment of atrophic posterior maxilla: A systematic review of literature. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 2015, 17(1), 120-132
9. Danesh-Sani, S.A., Engebretson, S.P.Janal M. N., Histomorphometric results of different grafting materials and effect of healing time on bone maturation after sinus floor augmentation: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Periodontal Research* 2017 52(3). 301-312.

10. Ting, M., Rice, J.G., Braid, S.M., Lee, C.Y.S., Suzuki, J.B. Maxillary sinus augmentation for dental rehabilitation of the edentulous ridge: A comprehensive overview of systematic reviews. *Implant Dentistry* 2017, 26(3), 438-464. Starch-Jensen, T., Jensen, J.D. Maxillary sinus floor augmentation: A review of selected treatment modalities. *Journal of Oral & Maxillofacial Research*. 2017 8 (3) Tatum, H. Maxillary and sinus implant reconstructions. *Dental Clinics of North America* 1986;30:207-229
11. Starch-Jensen T, Jensen JD Maxillary sinus floor augmentation: a review of selected treatment modalities *J Oral Maxillofac Res* 2017 Sep 30;8(3)
12. Tatum H Jr Endosteal Implants *CDA J*1988;16(2):71-76
13. Boyne, PJ Grafting of the maxillary sinus floor elevation with autogenous marrow and bone. *Journal of Oral Surgery* 1980;38:613-616
14. Summers RB A new concept in maxillary implant surgery: The osteotome technique. *Compendium* 1994;15:152-156
15. Jensen OT, Shulman LB, Block MS, Iacono VJ. Report of the sinus Consensus Conference of 1996. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1998;13 Suppl:11-45
16. Zitzmann NU, Scharer P Sinus elevation procedure in the resorbed posterior maxilla. Comparison of the crestal and lateral approaches. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 1998 Jan;85(1):8-17
17. Klinj RJ, Meijer GJ, Bronkhorst, EM, Jensen JA A meta-analysis of histomorphometric results and graft healing time of various biomaterials compared to autologous bone used as sinus floor augmentation material in humans *Tissue Engineering Part B Reviews* 2010, 16:493-507
18. Albrektsson T & Johansson C. Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration *European Spine Journal* 2011;10(Suppl. 2): S96-S101
19. Hallman, M., Lundgren, S., Sennerby L. Histologic analysis and clinical biopsies taken 6 months and 3 years after maxillary sinus floor augmentation with 80% bovine hydroxyapatite and 20% autogenous bone mixed with fibrin glue. *Clinical Implant Dentistry and Related Research* 2001;3:87-96
20. Al Dajani, M Recent trends in sinus lift surgery and their clinical implications. *Clin Implant Dent Relat Res*. 2016;18(1):204-12.
21. Wallace, SS Lateral window sinus augmentation using bone replacement grafts, a biologically sound surgical technique. *Alpha Omegan* 2005;98:36-46
22. Al-Moraissi EA, Alkhatari AS, Abotaleb B, Altairi NH, Del Fabbro M Do osteoconductive bone substitutes result in similar bone regeneration for maxillary sinus augmentation when compared to osteogenic and osteoinductive bone grafts? A systematic and frequentist network meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2020 Jan;49(1):107-120

23. Pichotano EC, De Molon RS, de Souza RV, Austin RS, Marcantonio E, Zandim-Barcelos DL. Evaluation of L-PRF combined with deproteinized bovine bone mineral for early placement after maxillary sinus augmentation: A randomized clinical trial. *Clin Implant Dent Relat Res* 2019;1-10
24. De Molon RS, Magalhaes-Tunes FS, Semdo CV, Furlan RG, de Souza LGL, de Souza Faloni AP, Marcantonio Jr E A randomized clinical trial evaluating maxillary sinus augmentation with different particles sizes of demineralized bovine bone mineral: histological and immunohistochemical analysis *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2019 Jun;48(6):810-823
25. Dos Anjos TLMR, Molon RS, Paim PRF, Marcantonio E, Marcantonio E Jr, Faeda RS Implant Stability after sinus floor augmentation with deproteinized bovine bone mineral particles of different sizes: a prospective randomized and controlled split-mouth clinical trial *Int J Oral Maxillofac Surg*, 2016 Sep;(45(12):1556-1563
26. Chackartchi T, Iezzi G, Goldstein M, et al Sinus floor augmentation using large (1-2mm) or small (0,25-1mm) bovine bone mineral particles: a prospective, intra-individual controlled clinical, micro-computerized tomography and histomorphometric study. *Clin Oral Implants Res* 2011;23:473-80
27. Peric Kacaveric Z, Kavehei F, Houshmand A, Franke J, Smeets R, Rimashevsky D, Wenisch S, Schnettler R, Jung O, Barbeck M Purification processes of xenogeneic bone substitutes and their impact on tissues reaction and regeneration. *Int J Artif Organs*, 2018;41:789-800 De Carvalho B, Rompen E, Lecloux G, Shupbach P, Dory E, Art J-F, Lambert F Effect of sintering on in vivo biological performance of chemically deproteinized bovine hydroxyapatite *Materials* 2019;12:3946
28. Barbeck M, Udeabor S, Lorenz J, Schlee M, Holthaus MG, Raetscho N, Ghanaati S High-temperature sintering of xenogeneic bone substitutes leadsto increased multinucleated giant cell formation: in vivo and preliminary clinical results *Journal of Oral Implantology* 2015;41(5), e212-e222
29. Tawil G, Barbeck M, Unger R, Tawil P, Witte F Sinus floor elevation using lateral approach an window repositioning and a xenogeneic bone substitute as a grafting material: A Histological, Histomorphometric, and Radiographic Analysis. *Int j Oral Maxillofac Implant* 2018;33:1089-1096
30. Kohal RJ, Gubik S, Strohl C, Stampf S, Bächle M, Hurle AA, Patzelt BM Effect of two different healing times on the mineralization of newly formed bone substitute in sinus floor augmentation: a randomized, controlled, clinical and histological investigation *J Clini Periodontol* 2015;42:1052-1059
31. Zhang Y, Tangl S, Huber CD, Lin Y, Qiu L, Raush-Fan X. Effects of Choukrroun's platelet rich fibrin on bone regeneration in combination with DBBM in maxillary sinus augmentation: a histological and histomorphometric study. *J Craniomaxillofac Surg* 2012;40:321-328

32. Fanburg JC, Rosenberg AE, Weaver DL, Leslie KO, Mann KG, Taatjes DJ, Tracy RP. Osteocalcin and osteonectin immunoreactivity in the diagnosis of osteosarcoma. *Am J Clin Pathol.* 1997 Oct;108(4):464-73.
33. Montes GS. Structural biology of the fibers of the collagenous and elastic systems *Cell Bio Int* 1996 Jan;20(1):15-27
34. Alayan J, Uvanowski S. A prospective controlled trial comparing xenograft/autogenous bone and collagen-stabilized xenograft for maxillary sinus augmentation-complications, patient reports outcomes and volumetric analysis *Clin Oral Implants Res* 2018;29:248-62.
35. Testori T, Wallace SS, Trisi P, Capelli M, Zuffetti F, Del Fabro M Effect of xenograft (ABBM) particle size on vital bone formation following maxillary sinus augmentation: a multicenter, randomized, controlled, clinical histomorphometrical. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2013;33:467-75
36. Shanbhag S, Shanbhag V, Stravopoulos A. Volume changes of maxillary sinus augmentations over time: a systematic review *Int J Oral Maxillofacial Implants*, 2014, Jul- Aug;29(4):881-92
37. Xu H, Shimizu Y, Asai S, Ooya K Grafting of deproteinized bone particles inhibits bone resorption after maxillary sinus floor elevation *Clinical Oral Implants Research* 2004;15:126-133.
38. da Silva Brum I, Frigo L, Lana Devita R, et al. Histomorphometric, immunohistochemical, ultrastructural characterization of a nano-hydroxyapatite/beta-tricalcium phosphate composite and a bone xenograft in sub-critical size bone defect in rat calvaria. *Materials (Basel)*. 2020;13(20):4598. doi:10.3390/ma13204598
39. Lattouf R, Younes R, Lutomski D, et al. Picrosirius red staining: a useful tool to appraise collagen networks in normal and pathological tissues. *J Histochem Cytochem.* 2014;62(10):751–758. doi:10.1369/0022155414545787
40. Gultekin BA, Cansiz E, Borahan O, Mangano C, Kolerman R, Mijiritsky E, Yalcin S. Evaluation of Volumetric Changes of Augmented Maxillary Sinus With Different Bone Grafting Biomaterials. *J Craniofac Surg.* 2016 Mar;27(2)
41. Raghoobar, GM., Onclin P., Boven Carina, G., Vissink, A. Long-term effectiveness of the maxillary sinus floor augmentation: A systematic review and meta-analysis *J Clin Periodontol.* 2019;46 (Suppl. 21):307-318

## 2. Artigo científico 2

Artigo de acordo com as normas da Faculdade ILAPEO, para futura publicação no periódico:  
Clinical Implant Dentistry and Related Research

### COMPARAÇÃO TOMOGRÁFICA DA ESTABILIDADE VOLUMÉTRICA NO PREENCHIMENTO DE SUBSTITUTO ÓSSEO XENÓGENO SINTERIZADO UTILIZADO NA ELEVAÇÃO DO ASSOALHO DO SEIO MAXILAR EM DOIS TEMPOS DE CICATRIZAÇÃO. UM ENSAIO CLÍNICO RANDOMIZADO.

Ricardo Pasquini Filho<sup>1</sup>  
Rubens Moreno de Freitas<sup>2</sup>  
Elcio Marcantonio Junior<sup>2</sup>  
Flavia Kiatake Fontão<sup>2</sup>  
Leandro Eduardo Kluppel<sup>2</sup>  
Tatiana Deliberador<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Doutorando Faculdade ILAPEO

<sup>2</sup> Professor Doutor Departamento de Implantodontia da Faculdade ILAPEO

#### RESUMO

**Introdução:** A perda dentária na região posterior da maxila leva à reabsorção óssea e pneumatização do seio maxilar, dificultando a instalação de implantes dentários. A elevação do assoalho do seio maxilar é uma abordagem amplamente utilizada para restabelecer a altura óssea e viabilizar a reabilitação implantossuportada. O uso de substituto ósseo bovino sinterizado tem demonstrado eficácia na formação de tecido ósseo viável, proporcionando ganho de altura óssea, densidade e área de contato osso-implante, favorecendo a osseointegração e a longevidade dos implantes. No entanto, a variação volumétrica desse enxerto durante o período de cicatrização ainda não está bem estabelecida. **Objetivo:** Avaliar a estabilidade volumétrica de um substituto ósseo xenógeno sinterizado (SOXS) utilizado na elevação do seio maxilar, comparando dois tempos de cicatrização (4 e 8 meses) utilizando tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e uma análise tridimensional (3D). **Materiais e Método:** Quatorze participantes com edentulismo bilateral na região posterior da maxila foram randomizados em um modelo de boca dividida. Cada paciente recebeu dois enxertos de seio maxilar utilizando SOXS, sendo um no início do estudo (mês 0 - Grupo Controle, GC) e outro após 4 meses no (Grupo Teste, GT), totalizando 28 enxertos. As alterações volumétricas dos enxertos foram analisadas por meio de tomografias de feixe cônico (TCFC) obtidas em quatro momentos distintos: T0 (pré-operatório), T1 (pós-operatório imediato), T2 (4 meses), e T3 (8 meses). Os arquivos DICOM da TCFC foram processados no software Nemotec® utilizando uma ferramenta de seleção específica e reconstrução tridimensional, com sobreposição das imagens e cálculo volumétrico do enxerto, determinado pela subtração do volume do seio maxilar nos períodos pós-operatórios em relação ao volume inicial pré-operatório. A comparação entre os grupos foi realizada por meio do teste t de Student para amostras pareadas ( $p < 0,05$ ). **Resultados:** O aumento médio de altura óssea foi de 10,10  $\pm$  2,29mm (GT) e 9,47  $\pm$  2,58 (GC). O volume médio de enxerto necessário para atingir 10mm de altura óssea foi de 1,92cc  $\pm$  0,26cm<sup>3</sup> (GC) e 1,84cm<sup>3</sup>  $\pm$  0,661cm<sup>3</sup> (GT). A maior redução volumétrica do enxerto ocorreu nos primeiros quatro meses de cicatrização (T1-T2: 8,19%,  $p < 0,05$ ), seguida por uma redução menor entre os quatro e oito meses (T2-T3: 4,75%  $p = 0,087$ ), totalizando uma perda de 12,83% ao final do período (T1 -T3  $p < 0,05$ ). Esses achados indicam que a maior reabsorção do enxerto ocorre nos primeiros quatro meses, com uma

estabilização progressiva nos meses subsequentes. **Conclusão:** A redução volumétrica do enxerto foi mais acentuada nos primeiros quatro meses de cicatrização, seguida por uma estabilização gradual até o oitavo mês. Esses achados reforçam a influência do tempo na redução da estabilidade volumétrica do enxerto e sugerem a necessidade de levar essa alteração em consideração no planejamento das dimensões dos implantes.

**Palavras-chave:** maxillary sinus lifting; xenograft; CBCT; volumetric stability

## ABSTRACT

**Introduction:** Tooth loss in the posterior maxillary region leads to bone resorption and maxillary sinus pneumatization, making the placement of dental implants challenging. Maxillary sinus floor elevation is a widely used approach to restore bone height and enable implant-supported rehabilitation. The use of sintered bovine bone substitute has shown efficacy in the formation of viable bone tissue, providing increased bone height, density, and bone-implant contact area, favoring osseointegration and long-term implant survival. However, the volumetric variation of this graft during the healing period is not yet well established. **Objective:** To evaluate the volumetric stability of a sintered xenogeneic bone substitute (SXBS) used in maxillary sinus elevation, comparing two healing times (4 and 8 months), using cone beam tomography and a (3D) three-dimensional analysis. **Materials and Methods:** Fourteen participants with bilateral posterior maxillary edentulism were randomized in a split-mouth model. Each patient received two maxillary sinus grafts using SXBS, one at the beginning of the study (month 0 - Control Group, CG) and another after 4 months (Test Group, TG), totaling 28 grafts. The volumetric changes in the grafts were analyzed using cone-beam computed tomography (CBCT) at four different time points: T0 (preoperative), T1 (immediate postoperative), T2 (4 months), and T3 (8 months). DICOM files were processed in the Nemotec® software, with image superimposition and volumetric calculation of the graft determined by subtracting the maxillary sinus volume at postoperative periods from its initial preoperative volume. A paired Student's t-test was used to compare the groups ( $p < 0.05$ ). **Results:** The mean increase in bone height was  $10.10 \pm 2.29$  mm (TG) and  $9.47 \pm 2.58$  mm (CG). The mean graft volume required to achieve 10 mm of bone height was  $1.92 \pm 0.26$  cm<sup>3</sup> (CG) and  $1.84 \pm 0.661$  cm<sup>3</sup> (TG). The greatest volumetric reduction of the graft occurred in the first four months of healing (T1-T2: 8.19%,  $p < 0.05$ ), followed by a smaller reduction between four and eight months (T2-T3: 4.75%,  $p = 0.087$ ), totaling a 12.83% loss at the end of the period (T1-T3,  $p < 0.05$ ). These findings indicate that the highest graft resorption occurs in the first four months, followed by progressive stabilization in the subsequent months. **Conclusion:** The volumetric reduction of the graft was more pronounced in the first four months of healing, followed by a gradual stabilization until the eighth month. These findings reinforce the influence of healing time on the volumetric stability of the graft and suggest the need to consider this alteration when planning implant dimensions.

**Keywords:** maxillary sinus lifting; xenograft, CBCT; volumetric stability

## INTRODUÇÃO

A perda dentária na região posterior da maxila desencadeia alterações fisiológicas significativas, incluindo a reabsorção progressiva do osso alveolar e a pneumatização do seio maxilar. Essas mudanças resultam na redução da altura óssea disponível, dificultando a instalação de implantes dentários e comprometendo a reabilitação implantossuportadas (1).

Para contornar essa limitação, diversas abordagens cirúrgicas têm sido propostas. A técnica da elevação do assoalho do seio maxilar, inicialmente introduzidas por Tatum (2) e posteriormente descrita por Boyne e James (3), tornou-se uma das mais utilizadas. Esse procedimento, associado ao uso de enxertos ósseos, permite o aumento do volume ósseo disponível, viabilizando a instalação de implantes com dimensões adequadas. Além disso, é considerada um procedimento previsível, com baixas taxas de complicações, sendo aplicada tanto em reconstruções ósseas com a enxertia de biomateriais realizada previamente à instalação do implante, quanto de forma simultânea à instalação do implante (4, 5).

Outras alternativas incluem o uso de implantes curtos (6), implantes intencionalmente inclinados (7) e implantes zigomáticos (8). Todas essas alternativas têm demonstrado altas taxas de sucesso em reabilitações implanto-suportadas (9).

Entre os biomateriais disponíveis, o osso xenógeno de origem bovina é amplamente utilizado em enxertos para elevação de seio maxilar e tem sido extensivamente estudado em pesquisas clínicas (10). Sua estrutura cristalina é semelhante à do osso trabecular humano (11), apresentando uma rede tridimensional de poros interconectados e alta capacidade hidrofílica. Essas características, combinadas à suas propriedades osteocondutoras e biocompatibilidade, favorecem a estabilização do coágulo e proporcionam um suporte ao crescimento ósseo durante a cicatrização. Esse biomaterial permite a integração ao tecido do hospedeiro, promovendo a colonização por osteoblastos e a neoformação óssea (12, 13).

Entretanto, alguns substitutos ósseos sofrem reabsorção ao longo do tempo, levando à pneumatização recorrente do seio maxilar. Esse processo tem sido observado tanto com enxertos de osso autógeno (15) quanto com osso bovino desproteinizado, por meio de medições lineares e volumétricas realizadas nas avaliações pós-operatórias (10). Alguns estudos relataram aumento na altura óssea baseado em medições lineares obtidas imediatamente após o

enxerto e após o primeiro ano do procedimento (12-13). No entanto, a avaliação tridimensional da estabilidade volumétrica do enxerto tem sido sugerida como um fator mais relevante. (14)

A medição precisa do ganho ósseo inicial após a elevação do seio maxilar é essencial para a prever o sucesso da instalação dos implantes e avaliar a manutenção da altura e espessura óssea a longo prazo (mais de 2 anos). Embora a osteocondutividade do osso bovino na elevação do seio maxilar esteja bem documentada em estudos clínicos e *in vivo*, a relação entre a formação óssea inicial e a estabilidade volumétrica do enxerto antes da inserção dos implantes ainda precisa ser melhor compreendida. Além disso, há uma escassez de estudos que avaliem o uso padronizado de biomateriais no seio maxilar em relação à alteração volumétrica, ao tipo de material e ao software de análise utilizado (15).

Em um estudo de acompanhamento de mais de 6 anos, Zamure-Damberg et al. (2024) (16), avaliaram a estabilidade volumétrica do enxerto de seio utilizando substituto ósseo xenógeno ou combinado com osso autógeno. Comparando imagens da tomografia computadorizada em diferentes períodos, os autores concluíram que o enxerto manteve sua estabilidade volumétrica, com pequenas alterações ao longo de mais de 6 anos.

Uma revisão sistemática com meta-análise realizada por Raghoobar et al (2019) (15), examinou a eficácia a longo prazo ( $\geq 5$  anos) da elevação do assoalho do seio *maxilar*, avaliando diferenças nos resultados entre colocações simultâneas e tardias dos implantes, em pacientes com edentulismo total ou parcial, e procedimentos de enxertos. A meta-análise revelou uma perda de implante anual de 0,43% (95% CI: 0,037%-0,49%). Não houve diferença significativa na perda de implante entre os diferentes tipos de edentulismo, tempos de instalação dos implantes (imediate ou tardio) e materiais de enxerto utilizados (17).

Dentro deste contexto, os objetivos desse estudo foi avaliar a estabilidade volumétrica de um substituto ósseo xenógeno sinterizado (SOXS) ) Cerabone® (Straumann, Suíça ) utilizado na elevação do assoalho do seio maxilar de pacientes com atrofia óssea na região posterior de

maxila, comparando dois tempos de cicatrização (4 e 8 meses) utilizando tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) e uma análise tridimensional (3D).

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo clínico prospectivo longitudinal randomizado foi conduzido seguindo as diretrizes do *Consolidated Standards of Reporting Trials* (CONSORT). O protocolo deste estudo recebeu aprovação do Comitê de Ética da Faculdade ILAPEO, por meio da plataforma Brasil, com registro # 4.894.128 (agosto de 2021). Os dados clínicos, histológicos e histomorfométricos estão em vias de publicação (Pasquini-Filho et al 2024).

Este estudo clínico foi realizado nas instalações da Clínica de Implantodontia da Faculdade ILAPEO, Curitiba-Paraná, entre setembro de 2021 e julho de 2022. Todos os pacientes participantes foram informados verbalmente sobre os detalhes e objetivos do estudo, recebendo esclarecimentos adequados e, se compreendido o teor do trabalho e em concordância com os termos estabelecidos, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

### **Seleção do paciente e tamanho da amostra**

Foram selecionados 14 pacientes de ambos os sexos, tendo como critérios de inclusão: edentulismo bilateral na região posterior da maxila, com altura de rebordo alveolar inferior a 6mm, idade entre 30 e 80 anos, e indicação cirúrgica para elevação do assoalho do seio maxilar, sem obliterações do complexo osteomeatal.

Os critérios de exclusão abrangeram: condições sistêmicas comprometidas, tabagistas ou ex fumantes há menos de 10 anos, uso contínuo de álcool ou drogas, gravidez ou lactantes, histórico de radioterapia de cabeça e pescoço, uso de bifosfonatos ou imunossupressores, distúrbios plaquetários, diabetes não controlada, sinusite crônica, presença de patologias sinusais, e/ou remanescentes dentários no seio maxilar.

O tamanho da amostra foi calculado usando o módulo *Power and Sample Size* do software Stata/SE v.14.1. (StataCorpLP,EUA). O cálculo foi baseado nos dados reportados por

Zhang et al. (2019) (18), com o objetivo de detectar diferenças significativas entre os dois tratamentos (cicatrização em 4 e 8 meses) quanto variação da estabilidade volumétrica do enxerto. Considerando uma diferença média entre os dois tratamentos igual a 5,40% com desvio padrão de 5,48%, nível de significância de 0,05 e poder do teste igual a 90%, foram necessários 13 pares de casos para detectar diferença significativa entre os grupos.

### **Randomização**

Os seios maxilares dos pacientes foram randomicamente alocados em dois grupos: Grupo Teste (GT) com tempo de cicatrização de 4 meses e Grupo Controle (GC) com tempo de cicatrização de 8 meses, utilizando um modelo de boca dividida. A randomização foi realizada por um programa de computador (Microsoft Excel RAND), de modo que cada paciente foi considerado uma unidade experimental representando seu teste e próprio controle.

### **Metodologia da aquisição tomográfica**

Todas as TCFC foram obtidas no aparelho Axeos® (Dentsply Sirona®, Bensheim, Alemanha), de forma padronizada pelo mesmo operador: posição da cabeça do paciente com o plano mediano perpendicular ao solo e o plano oclusal paralelo ao solo. Os fatores de aquisição da imagem foram: 11x10mm para maxila, espessura de corte de 0,16 mm, 85 kV e 6 mA.

A TCFC pré-operatória foi adquirida para avaliação da integridade do seio maxilar e complexo ostiomeatal, além do planejamento cirúrgico. Para o estudo das áreas enxertadas, foram obtidas tomografias nos seguintes tempos:

(T0) – TCFC pré-operatória

(T1) – TCFC pós-operatória inicial (7-14 dias pós cirúrgico)

(T2) - TCFC após 4 meses (grupo teste)

(T3) - TCFC após 8 meses (grupo controle).

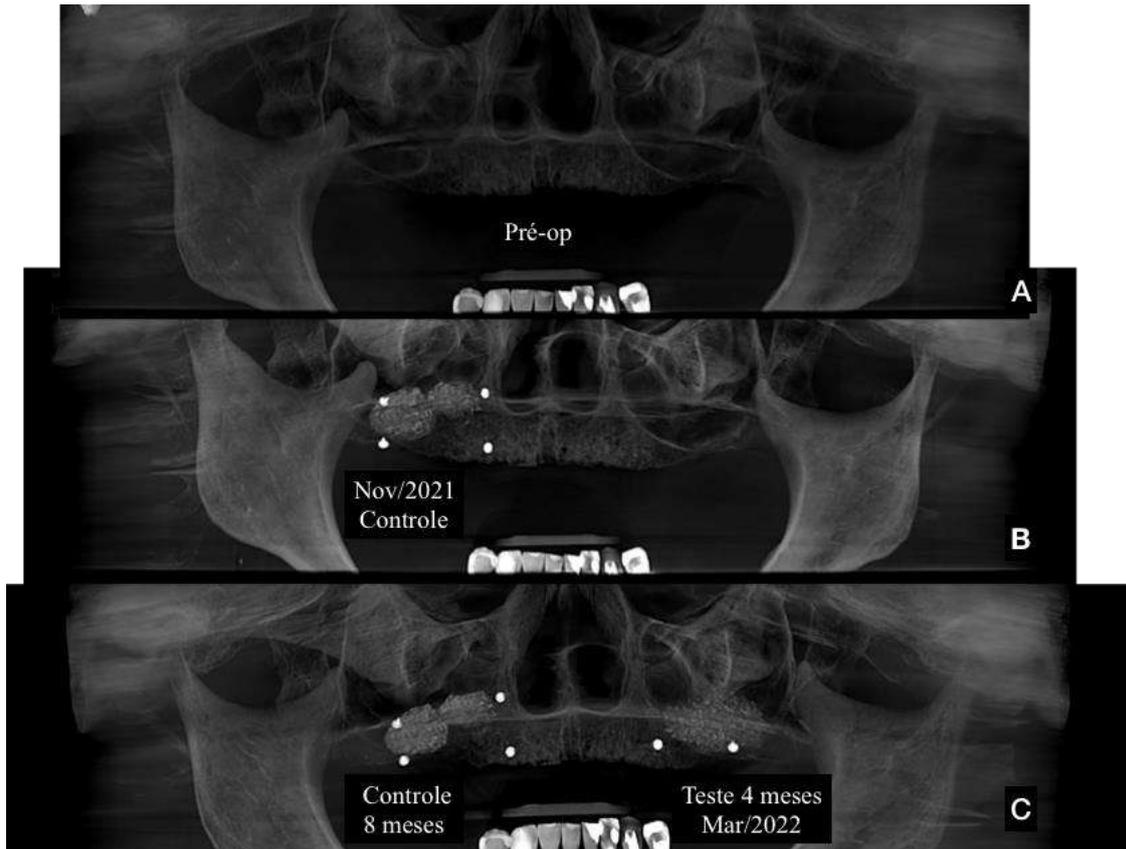


Fig.1. Sequência de radiografias panorâmicas em dois tempos diferentes de cicatrização: (A) abrangendo as etapas pré-operatória, (B) aos 4 meses e (C) aos 8 meses após a intervenção. Nos grupos teste e controle, foram realizadas quatro tomografias: no pré-operatório (T0), pós-operatório imediato (T1), aos 4 meses (T2) e aos 8 meses (T3) de cicatrização após o levantamento do assoalho do seio maxilar.

### **Mensuração da altura do remanescente ósseo e enxerto**

As medidas do remanescente ósseo e enxerto na área de interesse foram realizadas no corte transversal da TCFC (T3) no *software* SicatImplant® (Dentsply Sirona®, Bensheim, Alemanha), tendo como referência a imagem das tachinhas de fixação da membrana colágena correspondente a área de interesse (ROI) para futura instalação do implante (Figura 2).



Figura 2: Exemplo de mensuração da altura do remanescente ósseo e enxerto no corte transversal da Tomografia (T3). A localização das tachinhas auxiliou como referência para a medição da altura do enxerto e tempos distintos de cicatrização.

Todos os pacientes foram submetidos a tomografia computadorizada de feixe cônico (TCFC) para o planejamento da cirurgia de enxerto de seio maxilar, avaliando a anatomia do seio maxilar e o volume ósseo residual do rebordo alveolar (T0). As cirurgias ocorreram em dois momentos distintos de cicatrização: GC em novembro 2021 e GT em março 2022. Os pacientes foram acompanhados clinicamente semanalmente no primeiro mês e mensalmente até o 8º mês. Os exames subsequentes de imagem TCFC foram realizadas no mesmo centro de radiologia, imediatamente à cirurgia do GC (T1), imediatamente à cirurgia do GT (T2), e ao final de 8 meses de cicatrização do GC (T3), para avaliação volumétrica dos enxertos ao longo de 4 e 8 meses nos seios maxilares, assim como o planejamento e instalação dos implantes.

### Metodologia da volumetria

A avaliação do volume do seio maxilar e enxertos foi conduzida com o programa NemoScan®, integrado à plataforma multidisciplinar NemoStudio® (Nemotec SL® - Madri, Espanha), através de metodologia original utilizando ferramentas disponíveis para obtenção dos

resultados. Para aprimorar a reprodutibilidade na avaliação volumétrica do enxerto, buscou-se definir a delimitação do seio maxilar utilizando o contorno original do seio maxilar registrado na TCFC (T0) como referência para obter o volume do enxerto nos demais tempos operatórios. Essa abordagem elimina a necessidade de delimitar os limites da cavidade repetidamente em cada exame subsequente, restringindo a área a ser manipulado pelo avaliador à interface do enxerto com a área livre no seio maxilar (19-23).

### **1- Segmentação da malha tridimensional dos seios maxilares.**

Durante a importação dos exames tomográficos, utilizou-se a ferramenta de auto-segmentação do NemoStudio®, selecionando as estruturas anatômicas de interesse para o estudo: os seios maxilares e o crânio. Em seguida, os arquivos foram enviados ao servidor, onde a segmentação foi realizada automaticamente por meio de um algoritmo desenvolvido com uso de inteligência artificial.

Após a conclusão da segmentação, ao acessar o arquivo referente ao exame importado, as malhas tridimensionais referentes aos seios maxilares e o crânio já estavam corrigidas, livres dos defeitos e artefatos comumente presentes em malhas obtidas por meio da segmentação manual (Figura 3).

Após observar alta reprodutibilidade ao submeter o exame em diferentes momentos, obtendo resultados consistentes, o procedimento foi repetido nos demais exames obtidos nos demais tempos operatórios, obtendo-se modelos tridimensionais do seio maxilar hígido no pré-operatório (T0) e o volume remanescente do seio maxilar após o procedimento nos diferentes períodos do pós-operatório (T1, T2 e T3).

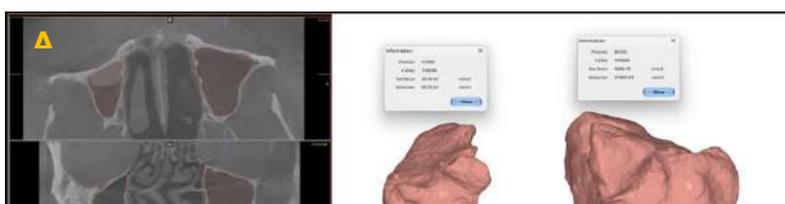


Figura 3: A - Segmentação do volume do seio maxilar pré-operatório (T0). B - Pós-operatório imediato (T1). À esquerda, painel com reconstruções multiplanares, o contorno da malha tridimensional do seio evidenciando a precisão na delimitação dos contornos da cavidade sinusal. A direita, as malhas tridimensionais dos seios maxilares segmentadas com o algoritmo automático, com indicação do volume de cada estrutura.

## **2- Ajustes e correção manual das malhas tridimensionais**

Após a obtenção das malhas tridimensionais dos seios maxilares em todos os exames avaliados, realizamos uma análise detalhada dos contornos de cada objeto no painel de visualização das reconstruções multiplanares. Em alguns casos correções foram necessárias uma vez que a segmentação automática busca detectar o espaço vazio dentro do seio maxilar, sem diferenciar necessariamente as estruturas presentes no seio maxilar em decorrência do procedimento cirúrgico do material enxertado. Nesses casos as ferramentas de edição e escultura tridimensional presentes no programa foram utilizadas para adequar os contornos da malha dos seios maxilares à delimitação da imagem tomográfica do material enxertado (Figura 8).

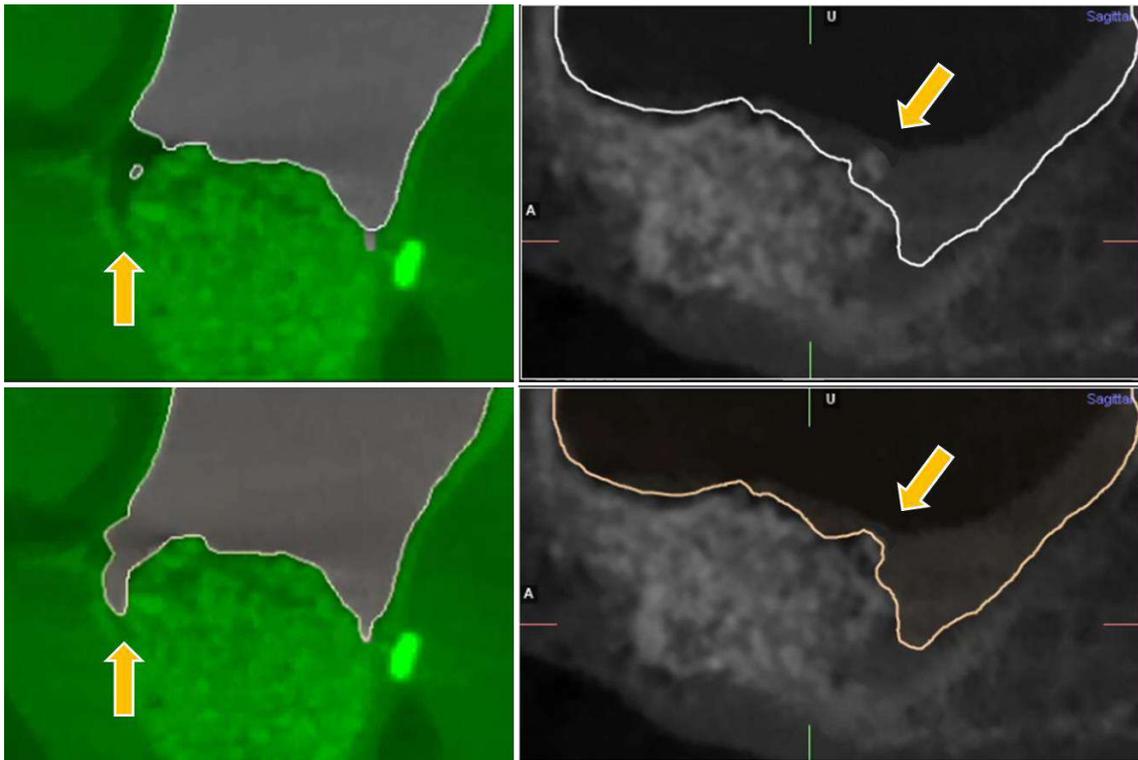


Figura 4: Edição da malha tridimensional adequar os contornos à imagem tridimensional dos enxertos utilizando as ferramentas de edição e escultura.

### 3- Sobreposição das malhas

Após observar a delimitação precisa da malha tridimensional do seio maxilar à superfície do enxerto em todos os exames avaliados, buscou-se reduzir o tamanho da estrutura à porção inferior do seio maxilar, que contém o enxerto ósseo e é a área de interesse a ser avaliada. Para isso decidiu-se sobrepor os objetos tridimensionais e eliminar a porção superior. As malhas correspondentes ao crânio e aos seios maxilares foram nomeadas de forma padronizada, para que fosse possível identificar o exame do qual foram obtidas, e em seguida foram importadas para o mesmo arquivo dentro do software. Após a importação, as malhas foram sobrepostas com a ferramenta de alinhamento de malhas, usando a base do crânio como referência. (Figura 9 e10).

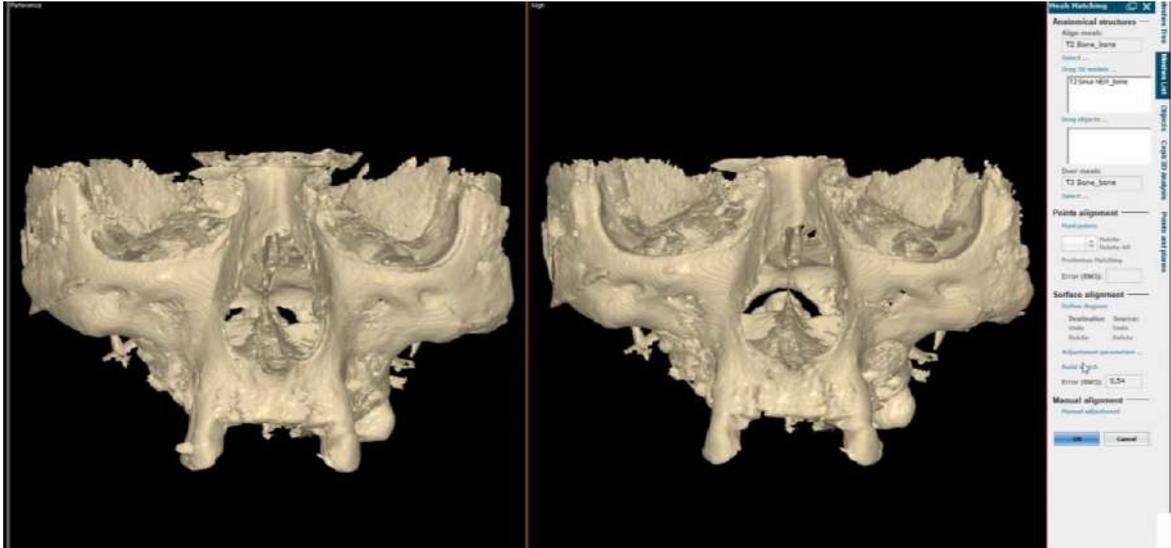


Figura 5: Sobreposição das estruturas nos diferentes tempos operatórios usando como referência a malha da base óssea da maxila segmentada a partir da Tomografia. A direita T3 e a esquerda T2.

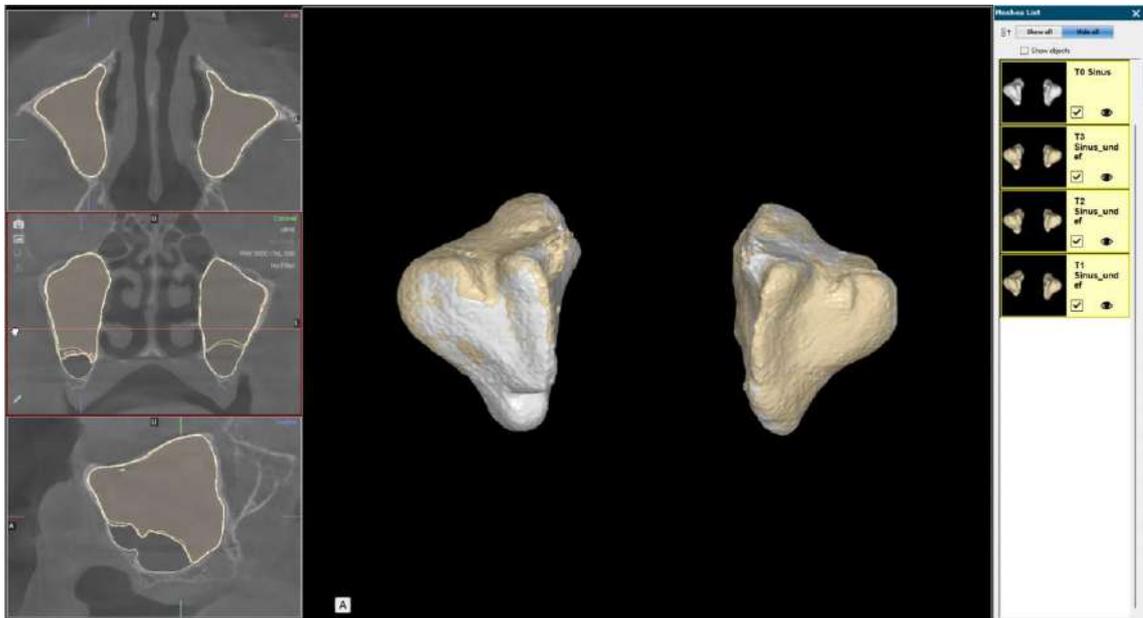


Figura 6: Malhas referentes aos seios maxilares nos diferentes tempos operatórios sobrepostas.

#### 4- Recorte e mensuração do volume

Após sobrepor as malhas referentes ao seio maxilar em todos os tempos operatórios, usando a reconstrução frontal movimentou-se a linha referente ao plano axial na janela de visualização das reconstruções multiplanares (MPR) até uma posição superior ao limite superior da área enxertada, sendo este determinado com o limite superior da área de interesse para mensuração. Em seguida, como referência, usando essa posição vertical do plano axial, a ferramenta de recorte no menu de edição de malhas foi usada para recortar a malha dos seios

maxilares, eliminando a porção superior e limitando as malhas tridimensionais à região de interesse onde estava contido o enxerto. Figura 7 e 8.

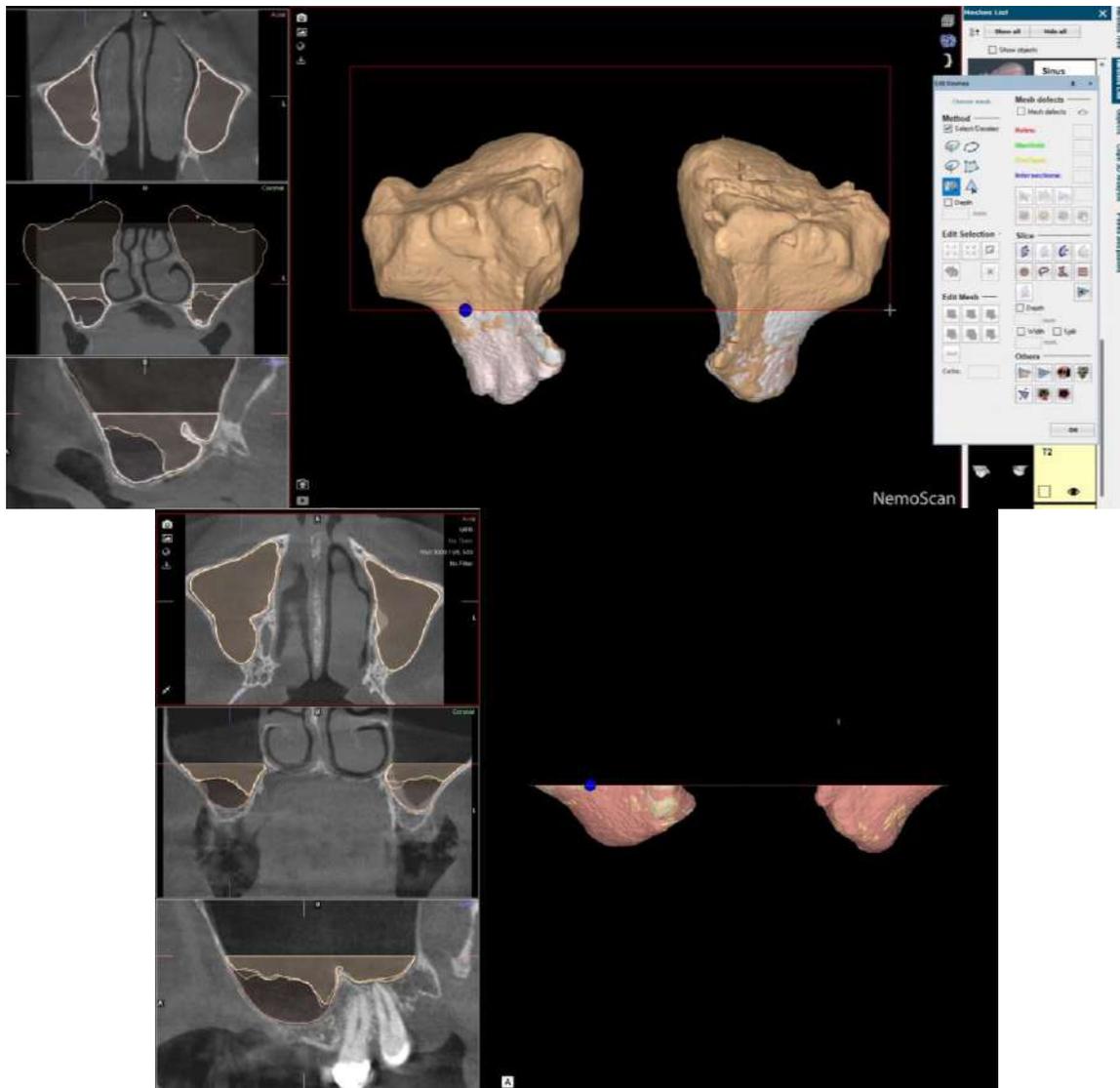


Figura 7 e 8: Recorte da porção superior das malhas referentes aos seios maxilares eliminando o excesso e padronizando o volume do seio nos diferentes protocolos de aquisição.

O volume ( $\text{mm}^3$ ) de cada uma das malhas referentes aos seios maxilares nos diferentes tempos operatórios foi avaliado. Os dados foram transferidos para uma tabela do Excel 9 Office 365® (Microsoft®, Redmond, EUA). Calculou-se o volume dos enxertos ósseos ( $\text{mm}^3$ ) por meio da subtração do volume do seio maxilar nos períodos pós-operatórios (T1, T2 e T3) do volume do seio maxilar no exame inicial (T0) (Figura 13).

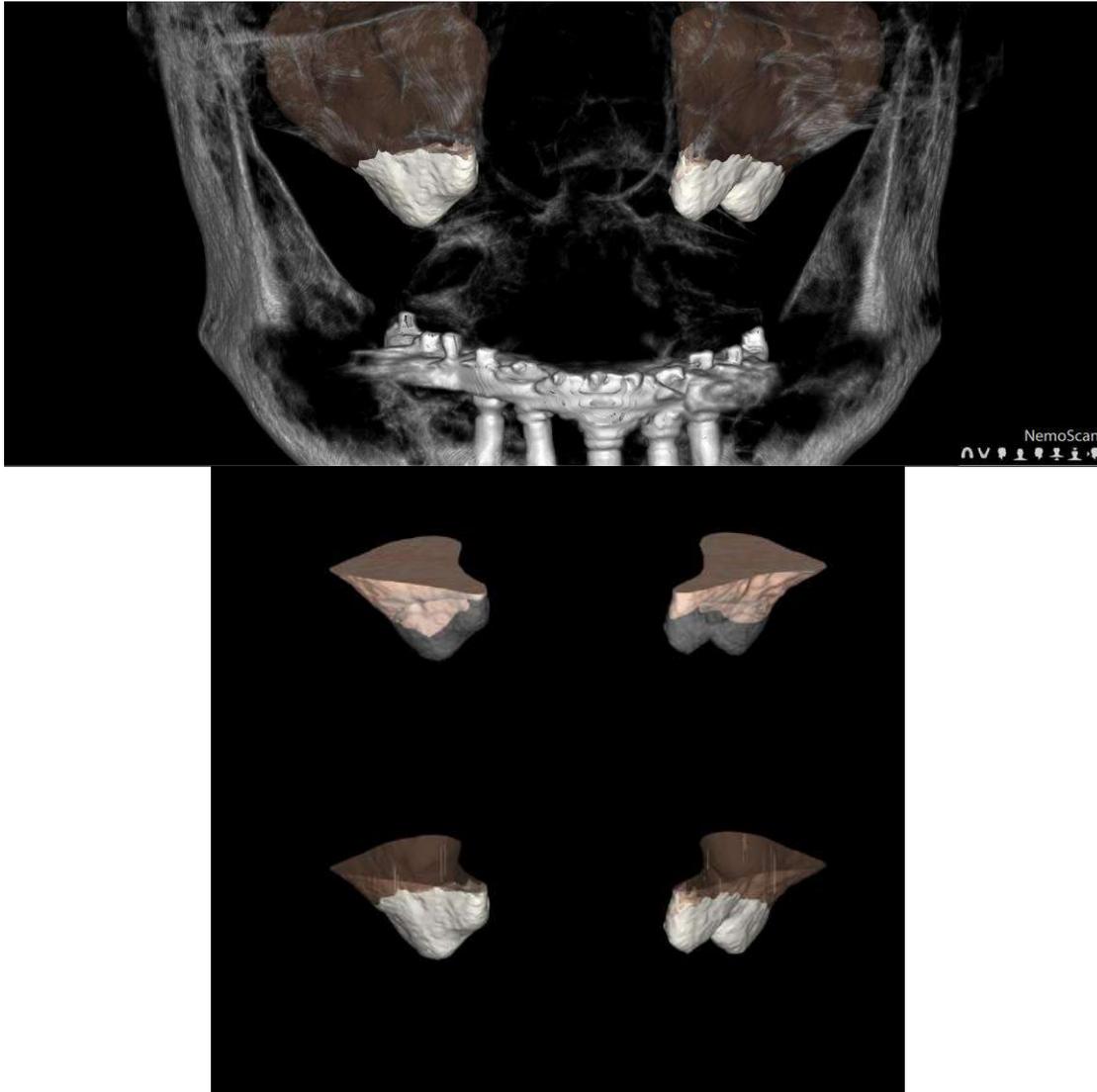


Figura 9 e 10: O volume dos enxertos ósseos ( $\text{mm}^3$ ) foi calculado pela subtração do volume do seio maxilar nos períodos pós-operatórios (T1, T2 e T3) do volume inicial do seio maxilar no exame inicial (T0).

### **Análise estatística**

Cada paciente foi considerado uma unidade experimental, representando seu teste e próprio controle. Os resultados foram apresentados por meio de estatística descritiva incluindo média, desvio-padrão, mediana, máximo e mínimo. Os dados foram organizados em planilha Excel® e analisados com o programa computacional IBM SPSS Statistics v.29.0. A volumetria do seio e do enxerto foi quantificada para verificar o volume nos diferentes grupos. As discrepâncias entre os grupos de 4 e 8 meses de cicatrização foram calculados utilizando o Teste t de Student

para amostras pareadas, demonstrando uma diferença estatisticamente significativa com um valor de  $p < 0,005$ .

## **RESULTADOS**

A análise apresentada a seguir foi realizada com base nos dados nas tomografias computadorizadas de feixe cônico (TCFC), de 14 pacientes com edentulismo bilateral na região posterior da maxila. Cada seio maxilar foi enxertado com o substituto ósseo xenógeno sinterizado Cerabone® e membrana Jason® (Straumann-Suíça) e randomizado em dois grupos, seguindo modelo de boca dividida. As cirurgias de enxerto de seio maxilar foram realizadas em duas etapas: uma inicial no mês 0 (grupo controle) e outra no mês 4 (grupo teste). No oitavo mês foram realizadas biópsias ósseas para análise histomorfométrica e instalação dos implantes dentários. Sendo assim, lados observados por 4 meses foram considerados como teste (GT) e lados observados por 8 meses foram considerados como controle (GC).

Dos 14 pacientes incluídos no estudo um deles teve dados perdidos da análise de volume. Sendo assim, foram considerados 13 casos para as análises.

### **Aumento ósseo Vertical**

Para este estudo clínico randomizado, foi utilizado um total 49cc ( $\text{cm}^3$ ) de Cerabone® (Straumann-Suíça), distribuídos em frasco de 1cc, com grânulos de tamanho entre 1-2mm e 26 membranas Jason® (Straumann-Suíça) nos 26 seios maxilares de 13 pacientes. Foram aplicados 25 frascos de 1cc para o grupo GC e 24 frascos no GT. A média de biomaterial utilizada por seio operado foi de 1,923cc (+/-0,262) para o GC e 1,846cc (+/- 0,661) para o GT, resultando em um aumento vertical da dimensão do osso alveolar da maxila de 10,10mm e 9,47mm respectivamente.

A Tabela 1 apresenta os resultados das estatísticas descritivas, comparando a altura óssea do rebordo alveolar residual, o ganho ósseo vertical proporcionado pelo enxerto e a dimensão vertical total, compreendendo o osso alveolar e o osso enxertado. Essas variáveis foram mensuradas nos cortes tomográficos transversais e organizadas de acordo com os grupos (teste e controle), juntamente com os valores de p obtidos nos testes estatísticos correspondentes.

TABELA 1 Comparação da altura óssea residual pré-cirúrgica e do ganho de altura óssea após o levantamento do assoalho do seio entre os grupos de 4 (GT) e 8 (GC) meses de cicatrização. (Valores expressos em mm<sup>3</sup>)

Variável	Grupo	n	Média	Desvio padrão	Mediana	Min	Max	Dif (C-T)	p*
Altura do osso residual	Teste	13	4,21	1,69	4,50	1,50	5,80		
	Controle	13	3,33	0,94	3,19	1,80	5,32	-0,87	0,071
Altura do osso total Osso residual + enxerto	Teste	13	14,41	2,10	14,59	9,96	17,17		
	Controle	13	12,81	3,04	12,42	8,30	18,57	-1,60	0,113
Ganho ósseo dentro do seio maxilar	Teste	13	10,10	2,29	9,67	6,09	15,11		
	Controle	13	9,47	2,58	8,32	5,55	14,99	9,47	0,524

\*Teste t de Student para amostras pareadas,  $p < 0,05$ ; n: tamanho da amostra; T: grupo teste-4 meses de cicatrização; C: grupo controle-8 meses de cicatrização; n: número de pacientes; Min: mínimo; Max: máximo; Dif: diferença; cicat: cicatrização

Tabela 1. O procedimento de elevação do assoalho do seio proporcionou um ganho de altura de 10,10mm para o GT e 9,47 para o GC. Ao aplicar o Teste t de Student para amostras pareadas, com um nível de significância de  $p < 0,05$ , não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Isso abrange a altura do osso residual, o aumento da altura óssea obtida pelo biomaterial enxertado e a altura do osso total obtida pela soma do osso residual e osso enxertado. Esses resultados destacam uma notável homogeneidade entre os GT e GC.

### Volumetria do seio

Na Tabela 2 e no Gráfico 1, analisamos a variação do volume do seio entre os grupos em quatro momentos distintos de cicatrização: pré-cirúrgico, pós cirúrgico imediato, 4 meses e

8 meses de cicatrização. Observou-se uma diferença significativa na redução do volume do seio nos tempos pós-operatórios em comparação ao pré-operatório, com valor de  $p=0,036$ , atribuído claramente ao preenchimento da cavidade do seio com o biomaterial. O procedimento de enxertia reduziu o volume do seio em 32,6% para GC e 38,1% para o GT. No entanto, ao comparar o volume do seio entre os tempos: pós-operatório imediato, 4 meses e 8 meses de cicatrização, não foram identificadas diferenças significativas entre os grupos. No entanto observou-se uma tendência de aumento do volume do seio ao longo dos 8 meses do processo de cicatrização. Entre os momentos T1 e T2, houve um aumento de volume de 3,83%. Entre T2 e T3, houve um aumento de volume de 2,3%. Considerando o período entre T1-T3 (8 meses de cicatrização), o volume do seio aumentou 6,04%.(ver gráfico 1).

TABELA 2– Comparação do volume do seio referentes aos tempos de cicatrização do GC e GT, (Valores expressos em  $\text{mm}^3$ )

Variável	Lado	n	Média	Desvio padrão	Mediana	Min	Max	Dif média (contr-teste)	p*
Volume seio	T (T0-pré cir)	13	3354	1081	2914	2313	6286	644	0,036
	C (T0=pré-cir)	13	3998	1295	3686	2176	6846		
Volume seio	T (T2=pós imed)	13	1996	487	2022	1179	2829	536	0,077
	C (T1=pós imed)	13	2532	1072	2355	1213	4722		
Volume seio	T (T3=4m de cicat)	13	2075	497	2103	1113	2814	558	0,073
	C (T2=4m de cicat)	13	2633	1099	2402	1296	4715		
Volume seio	T (T3=4m de cicat)	13	2075	497	2103	1113	2814	620	0,057
	C (T3=8m de cicat)	13	2695	1142	2458	1298	4970		

\*Teste t de Student para amostras pareadas,  $p<0,05$ ; n: tamanho da amostra; T: teste; C: controle; n: número de pacientes; Min: mínimo; Max: máximo; Dif: diferença; cicat: cicatrização

A Tabela 2 apresenta a variação detalhada do volume do seio no grupo teste (GT) e no grupo controle (GC) em 4 momentos distintos: T0 (pré-operatório), T1 (pós-operatório imediato) e T2 (quatro meses de cicatrização) e T3 (8 meses de cicatrização).

Gráfico 1- Variação volumétrica quantitativa do seio entre os grupos em quatro momentos distintos de cicatrização: pré-cirúrgico, pós cirúrgico imediato, 4 meses e 8 meses de cicatrização.

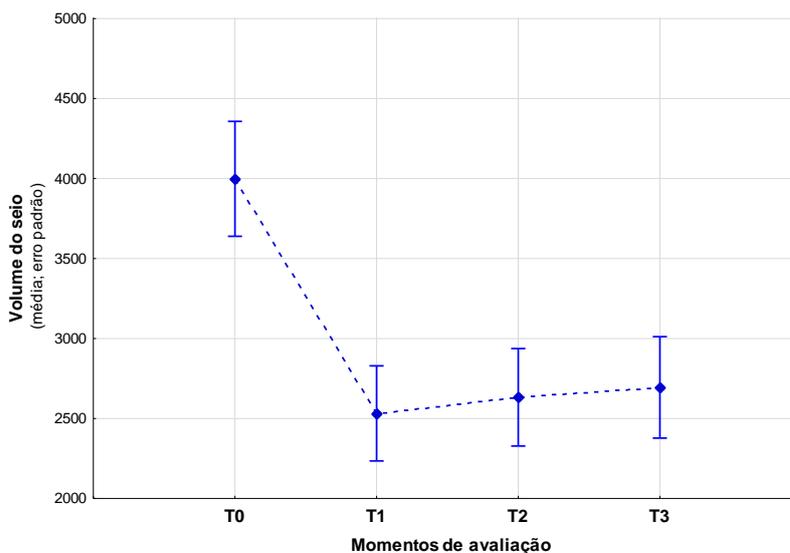


Gráfico 1: O preenchimento do biomaterial na cavidade do seio reduziu o volume do seio maxilar em 32% para o GC e 38,1% para o GT. A variação volumétrica no T0, T1 e T2 não apresentou diferença significativa, porém observou-se uma tendência de aumento do volume do seio de 6,04% ao longo dos 8 meses do processo de cicatrização.

A Tabela 3 analisa a variação do volume do enxerto entre os grupos ao longo do processo de cicatrização, considerando os momentos de pós-operatório imediato, 4 meses e 8 meses de cicatrização. Os dados indicam que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, sugerindo uma notável estabilidade no volume do enxerto durante todo o período de cicatrização. Esses achados destacam a excelente qualidade do biomaterial empregado no procedimento.

TABELA 3– Comparação do volume do enxerto ao longo do processo de cicatrização do GC e GT,(Valores expressos em mm<sup>3</sup>)

Variável	Lado	n	Média	Desvio padrão	Mediana	Min	Max	Dif média (contr-teste)	p*
Volume enxerto	T (T1=pós imed)	13	1376	881	1074	435	3722	93	0,646
	C (T1= pós imed)	13	1469	386	1412	962	2124		

Volume enxerto	T (T2=4m de cicat )	13	1279	844	968	485	3579	90	0,636
	C (T2=4m de cicat)	13	1369	421	1317	741	2131		
Volume enxerto	T (T3=4m de cicat )	13	1279	844	968	485	3579	25	0,896
	C(T3=8m de cicat)	13	1304	361	1300	717	1876		

Teste t de Student para amostras pareadas,  $p < 0,05$ ; n: tamanho da amostra; T: teste; C: controle; n: número de pacientes; Min: mínimo; Max: máximo; Dif: diferença; cicat: cicatrização

A Tabela 3 apresenta a variação do **volume do enxerto** entre os grupos nos momentos de pós-operatório imediato, 4 e 8 meses de cicatrização. Não houve diferenças estatisticamente significativas indicando estabilidade do volume do enxerto e destacando a qualidade do SOXS utilizado.

TABELA 4– Volume do enxerto no grupo controle nos diferentes momentos de cicatrização (Valores expressos em  $\text{mm}^3$ )

Momento d avaliação	Volume do enxerto - CONTROLE						p*
	n	Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	
Contr (inicial)	13	1469	386	1412	962	2124	
Contr (T2=4m de cicat)	13	1369	421	1317	741	2131	
Contr (T3=8m de cicat)	13	1304	361	1300	717	1876	<0,001

\*ANOVA com medidas repetidas,  $p < 0,05$ ; n: tamanho da amostra; T: teste; C: controle; n: número de pacientes; Min: mínimo; Max: máximo;; cicat: cicatrização

A Tabela 4 apresenta estatísticas descritivas das variáveis analisadas e os valores de p dos testes estatísticos. Considerando a rejeição da hipótese nula, os momentos de avaliação foram comparados dois a dois. Dado que foi encontrada uma diferença significativa na comparação dos três momentos de cicatrização, foram realizadas comparações post hoc dois a dois. Na tabela 5, são apresentados os valores de p dessas comparações.

TABELA 5 -Comparações Post-hoc comparando o momento de avaliação dois a dois

Momentos de avaliação comparados	p*
T1 x T2	0,017

T1 x T3	<0,001
T2 x T3	0,183

\*Teste post-hoc de Bonferroni,  $p < 0,05$

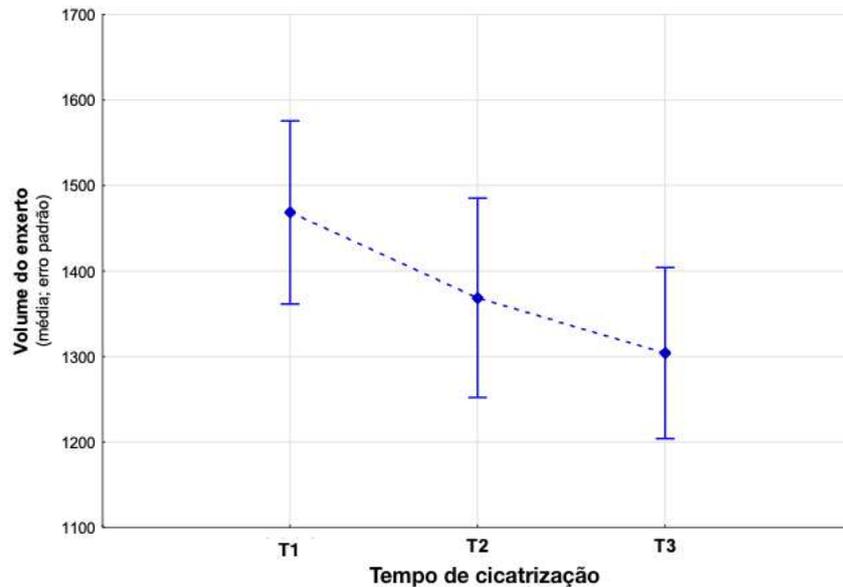
A Tabela 5 apresenta os valores de p resultante das comparações post-hoc entre os diferentes momentos de avaliação do volume do enxerto. As comparações foram realizadas utilizando o teste post-hoc de Bonferroni, com significância estabelecida em  $p < 0,05$ . A comparação dos momentos T1 x T2, que avalia o volume do enxerto inicial em relação ao volume após 4 meses de cicatrização, e a comparação entre o T1 x T3: que avalia o volume do enxerto inicial em relação ao volume após 8 meses de cicatrização, revelaram diferenças significativas no volume do enxerto entre os períodos comparados. A redução do volume do enxerto entre os momentos T1 -T2 foi de 8,19%, de T2-T3 foi de 4,75% e T1 a T3 foi de 12,83%.

TABELA 6 Redução em porcentagem do volume do enxerto ao longo do tempo de cicatrização.

Momentos de avaliação comparados	% de redução de volume do enxerto
T1 x T2	8,19
T1 x T3	4,75
T2 x T3	12,83

Gráfico 2: Variação volumétrica do enxerto em tempos distintos de cicatrização (Valores expressos em  $\text{mm}^3$ )

Gráfico 2 – Redução do volume do enxerto ao longo do período de 8 meses de cicatrização



O Gráfico 1- ilustra uma redução significativa do volume do enxerto ao longo do período de 8 meses de cicatrização. Na análise post-hoc dois a dois revelou que tanto o GC e G, quando avaliados de forma isolada, apresentaram diferenças significativas entre o volume do enxerto no pós-operatório imediato e após 4 meses de cicatrização (T1 x T2,  $p=0,017$  com 8,19%). Além disso, comparações entre o volume do enxerto no pós-operatório imediato e após 8 meses de cicatrização (T1 x T3), também indicaram mudanças significativas ( $p<0,001$ ).

## DISCUSSÃO

Em 1996, a Conferência de Consenso do Seio Maxilar (SCC), apresentou uma revisão baseada em uma extensa base de dados de pacientes tratados com o procedimento de elevação do assoalho do seio (24). Esta conferência resultou em um aumento significativo do número de publicações que analisaram a taxa de sobrevivência dos implantes instalados em seios enxertados. No entanto, poucos artigos discutem a variação volumétrica do osso enxertado no seio maxilar. O objetivo desse estudo foi realizar uma análise volumétrica em dois tempos distintos de

cicatrização (4 e 8 meses), utilizando o substituto ósseo xenógeno sinterizado (SOXS) Cerabone® e membrana Jason® (Straumann, Suíça) para elevação do seio maxilar.

Os resultados da avaliação da altura do osso residual pré-cirúrgico mostraram uma média de 4,21 +/- 1,69mm para o grupo Teste (GT) e 3,31 +/- 0,94mm para o grupo controle, apresentando homogeneidade entre os dois grupos analisados. O enxerto de seio maxilar resultou em um incremento médio de 10mm, totalizando uma média de 14mm quando somado ao rebordo alveolar residual. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os grupos teste (GT) e grupos controle (GC), destacando uma equivalência significativa nas variáveis avaliadas. Esses valores se assemelham as médias de alturas de rebordo residual analisadas em outros artigos (25).

Sheikhi et al (2023) (26), investigaram as mudanças no volume do seio maxilar após o enxerto, assim como o aumento de altura óssea no local enxertado, utilizando o software Mimics para calcular as alterações volumétricas e aumento da altura óssea do rebordo alveolar. Eles encontraram que, em média, foram necessários 1,40 cm<sup>3</sup> de biomaterial para obter um aumento de 10,52mm do rebordo alveolar, com uma mudança média no volume do seio de 1,19 cm<sup>3</sup>. Esses resultados são congruentes com os achados deste estudo clínico randomizado, no qual foram utilizados 49cm<sup>3</sup> de substituto ósseo xenógeno sinterizado (SOXS) com grânulos de tamanho de 1-2mm em 26 seios maxilares de 13 pacientes. A média de biomaterial por seio operado foi de 1,92cc (+/-0,26) para o GC e 1,84cc (+/- 0,661) para o GT. No GC, para um ganho de altura de 10,10mm, foram necessário 1,923cc de biomaterial, enquanto no GT, para um ganho de altura de 9,47mm, foram necessários 1,84cc, o que permitiu a instalação de implantes de 8 a 10mm de altura. A mudança média no volume do seio foi de 1,27 cm<sup>3</sup> para o GT e 1,30 cm<sup>3</sup> para o GC. Esses achados complementam o estudo de Arias-Irima et al (25) que utilizaram o software de planejamento Compudent para determinar o volume necessário de enxerto previamente a elevação do assoalho do seio maxilar. Eles mediram que o volume

necessário para instalar um implante de 13,4mm foi de 2,69 +/- 0,69 cm<sup>3</sup> e de 15mm foi de 3,13 +/-0,75cm<sup>3</sup>. Este estudo fornece o volume necessário para instalação de implantes de 8 a 10mm em seio enxertado.

Durante a elaboração do método para aquisição do volume do enxerto ósseo para comparação entre os diferentes tempos de cicatrização, propôs-se uma metodologia original utilizando ferramentas existentes para obtenção dos resultados. Para melhorar a precisão e reprodutibilidade dos resultados, foi utilizada a ferramenta de segmentação automática, que aplica algoritmos durante o processo de segmentação do exame tomográfico, garantindo aprimorar a acurácia na delimitação do seio maxilar e na obtenção de contornos tridimensionais mais precisos e consistentes das estruturas (19, 25, 27), possibilitando identificar alterações volumétricas, mesmo de pequena magnitude, e garantir a reprodutibilidade do processo para validação das comparações. A escolha do *software* NemoScan, integrado à plataforma NemoStudio representou um avanço em relação às limitações dos métodos manuais. Reconhecer e identificar as alterações volumétricas reforça a necessidade da utilização dessas ferramentas modernas para uma avaliação precisa do volume dos enxertos. As principais limitações observadas pelo operador foram a dificuldade ao diferenciar partículas do material enxertado, composto de substituto ósseo xenógeno e osso autógeno, de outros tecidos, como o coágulo sanguíneo e a membrana sinusal espessada, em determinados pontos do exame, especialmente nas proximidades das paredes do seio maxilar. Além disso, a delimitação precisa do seio maxilar na janela lateral para acesso ao seio maxilar nos tempos T1, T2 e T3 foi dificultada pela ausência de referências externas à sua posição original, resultando em diferença expressiva nas mensurações manuais realizadas em diferentes momentos, mesmo com a presença de tachinhas para fixação a determinação de pontos de referência externo ficou comprometida pois cada paciente recebeu a fixação de membranas de maneira personalizada.

Ambas as situações são limitações conhecidas e inerentes à subjetividade técnica da delimitação manual (20, 21).

A segmentação tridimensional dos seios maxilares, a correção manual das malhas e a sobreposição evidenciam a atenção detalhada garantindo a precisão dos contornos anatômicos. O procedimento meticuloso de recorte e mensuração do volume do enxerto, seguido pela transferência e análise dos dados, possibilitou uma avaliação quantitativa precisa. Isso permitiu o cálculo exato do volume dos enxertos nos diferentes tempos pós-operatórios em relação pré-operatório, contribuindo significativamente para a avaliação da estabilidade tridimensional do enxerto ao longo do período avaliado.

Foram realizadas duas análises distintas para a avaliação da volumetria do seio maxilar. Na primeira análise, comparou-se a variação volumétrica entre os grupos (GC e GT) nos períodos pré-cirúrgico, pós cirúrgico imediato, 4 e 8 meses de cicatrização pós-enxerto de seio. Na segunda análise, avaliou-se a variação volumétrica ao longo dos diferentes momentos de cicatrização dentro de cada grupo. Na análise entre grupos do volume do seio verificou-se uma redução significativa nos períodos pós-operatórios em comparação com o pré-operatório, com uma diminuição de 32,6% para o GC e 38,1% para o grupo teste ( $p=0,036$ ). Isso destaca a influência do preenchimento com o substituto ósseo xenógeno. Apesar da disparidade inicial na redução de volume do seio, claramente atribuído pelo preenchimento da cavidade do seio maxilar com substituto xenógeno sinterizado, não foram identificadas diferenças significativas entre os grupos nos períodos pós cirúrgico imediato (T1), 4 meses (T2) e 8 meses (T3), observou-se uma leve tendência de aumento do volume do seio ao longo dos 8 meses de cicatrização. Entre T1-T3, o volume do seio aumentou 6,04%, possivelmente devido à contração do enxerto durante o processo de cicatrização. Apesar desse pequeno aumento de volume do seio, essa análise evidencia a efetividade do enxerto, a consistência do biomaterial

e estabilidade tridimensional ao longo do tempo. Esses achados fornecem dados valiosos para a prática clínica, aprimorando a compreensão da dinâmica da cicatrização do enxerto de seio.

Na análise volumétrica do enxerto entre os grupos, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas nos diferentes momentos de cicatrização: pós-operatório imediato (T1), 4 (T2) e 8 meses (T3). Estes resultados indicam uma notável homogeneidade entre os grupos, proporcionando estabilidade do volume do enxerto ao longo do período de cicatrização. No entanto, ao avaliar a variação volumétrica do enxerto dentro de cada grupo, a comparação entre os momentos T1 x T2, e T1 x T3, revelou diferenças significativas no volume do enxerto. A redução percentual do volume do enxerto entre os momentos T1 -T2 foi de 8,19%, entre T2-T3 foi de 4,75% e de T1 a T3 foi de 12,83%. Observou-se uma maior perda de volume do enxerto nos primeiros 4 meses de cicatrização, seguida por uma redução pela metade nos 4 meses subsequentes. Esses resultados evidenciam a redução do volume do enxerto durante o processo de cicatrização, obtendo melhores resultados do que na revisão sistemática de variação volumétrica de enxerto no seio maxilar ao longo do tempo de Shanbhag et al(14), que reportaram reduções de volume ósseo entre 18% e 22% após períodos observacionais de 6 meses a 6 anos, em 142 seios analisados. De maneira semelhante, Wanschitz et al observaram uma perda de volume do enxerto ósseo de 13,9% em 6 meses após o enxerto de seio. Zamure-Damberg et al.(16), que avaliaram a estabilidade volumétrica do enxerto de seio avaliando as imagens de tomografia computadorizada em diferentes períodos, concluindo que o enxerto manteve sua estabilidade volumétrica, com apenas pequenas alterações após 6 anos. Corroborando com os resultados da revisão sistemática e meta-análise realizada por Raghoobar et al (17), examinaram a eficácia a longo prazo ( $\geq 5$  anos) da elevação do assoalho do seio maxilar, avaliando diferenças nos resultados entre colocações simultâneas e tardias dos implantes, em pacientes com edentulismo total ou parcial, e procedimentos de enxertos. A meta-análise revelou uma perda de implante anual de 0,43% (95% CI: 0,037%-0,49%). Não houve

diferença significativa na perda de implante entre os diferentes tipos de edentulismo, tempos de instalação dos implantes (imediate ou tardio) e materiais de enxerto utilizados.

Com base na análise dos resultados, observamos uma redução de 12,83% do volume em 8 meses de cicatrização após a elevação do seio maxilar. Para compensar essa perda de volume de enxerto, pode-se sugerir um acréscimo de 10% de biomaterial durante o procedimento de elevação do assoalho do seio maxilar.

Apesar dos resultados significativos este estudo apresenta limitações relacionadas ao tamanho da amostra e ao tempo de investigação. Um tamanho de amostra maior e um período de acompanhamento mais longo poderiam fornecer uma base mais robusta para comparações estatísticas. Pesquisas futuras devem considerar esses fatores para validar e expandir os resultados, proporcionando uma melhor compreensão da estabilidade volumétrica do enxerto a longo prazo e aprimorando as técnicas e os resultados clínicos na elevação do assoalho do seio maxilar.

As avaliações referentes à volumetria do seio realizadas nos GT e GC, de maneira isolada, demonstraram uma tendência estabilidade ao longo do processo de cicatrização, delineando um período de 4 meses para o GT e 8 meses para o GC. Após a realização do enxerto, constatou-se uma redução no volume do seio, resultante do preenchimento do biomaterial na cavidade sinusal. Ao longo do período de cicatrização, não foram observadas diferenças significativas na volumetria do seio nos diferentes tempos examinados. No entanto, uma leve tendência a um aumento de volume da cavidade do seio decorrente possivelmente da contração do enxerto durante os 4 e 8 meses de cicatrização foi notada durante o período estudado.

## **CONCLUSÃO**

Com base nos resultados observados é possível sugerir que

- i) na comparação entre os grupos de 4 e 8 meses de cicatrização, foi obtida uma estabilidade volumétrica do seio maxilar e do enxerto ao longo do período de cicatrização com uma leve tendência á redução.
- ii) Na análise dos momentos de cicatrização dentro de cada grupo, observou-se uma maior perda de volume do enxerto nos primeiros 4 meses de cicatrização, seguida por uma menor diminuição até o oitavo mês. Esse achados sugerem a necessidade de um acréscimo de biomaterial durante o procedimento para compensar essa perda.
- iii) A estabilidade volumétrica observada indica a consistência do SOXS ao longo do tempo de cicatrização, bem como sua capacidade de manter o volume ósseo necessário para a instalação dos implantes. Estes resultados fornecem evidências favoráveis ao uso do SOXS como uma opção viável e eficaz para procedimentos de enxerto de seio maxilar.

## REFERÊNCIAS

1. Adell R, Erikson B, Lekholm U, Branemark PI, Jemt T. Long-term follow-up study of osseointegrated implants in the treatment of totally edentulous jaws. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1990;5:347-59
2. Tatum H Jr Endosteal Implants *CDA J*1988;16(2):71-76
3. Boyne, PJ Grafting of the maxillary sinus floor elevation with autogenous marrow and bone. *Journal of Oral Surgery* 1980;38:613-616
4. Lindgren C, Mordenfeld A, Johansson CB, Hallman M A 3-year clinical follow-up of implants placed in two different biomaterials used for sinus augmentation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2012;27:1151-1162
5. Aglahoo, T.L., Misch, C., Lin, G.H., Iacono, V.J., & Wang, H.L. Bone augmentation of the edentulous maxilla for the implant placement: A systematic review. *The Int J Oral & Maxillofac Implants*, 31(Suppl) s19 – s 30.
6. Thoma D.S., Zeltner, M., Husler, J., Hammerle, C. H. F. Jung, R.E. EAO Supplemment Working Group 4 – EAO CC 2015 Short implants versus sinus lifting with longer implants to restore the posterior maxilla: A systematic review. *Clinical Oral Implants Research*, 26(Suppl 11), 154-169

7. Luiz J, Luiz JH, Jarry CR, Sukekava F. Implantes ancorados na tuberosidade maxilar com carga imediata. *Full Dent. Sci.* 2022; 13(50):24-31.DOI: 10.24077/2022;13502461263
8. Esposito, M., Grusovin, M.G., Rees, J., Karasoulos, D., Felice, P., Alissa, R., Coulyard, P. Effectiveness of sinus lift procedures for dental implant rehabilitation: A Cochrane systematic review. *European Journal of Oral Implantology* 2010 3(1), 7-26
9. Del Fabro, M, Testori, T., Francetti, L, Weinstein, R. Systematic review of survival rates for implants in the grafted maxillary sinus. *International Journal of Periodontics and Restorative Dentistry* 2004;24:565-577
10. Artzi Z, Nemcovsky CE, Dayan D Bovine-HA spongiosa blocksand immediate implant placementin sinus augmentation procedures. Histopathological and histomorphometric observations on different histological staining in 10 consecutive patients *Clin OralImplants Res* 2002;13:420-427
11. Barbeck M, Udeabor S, Lorenz J, Schlee M, Holthaus MG, Raetscho N, Ghanaati S High-temperature sintering of xenogeneic bone substitutes leadsto increased multinucleated giant cell formation: in vivo and preliminary clinical results *Journal of Oral Implantology* 2015;41(5), e212-e222
12. Hürzeler MB, Quiñones CR, Kirsch A et al. Maxillary sinus augmentationusing different bone grafting materials and dental implantsin monkeys. Part I Evaluation of anorganic bovine-derived bone matrix. *Clin Oral Implants Res* 1997;8:476-486
13. Mangano C, Scarano A, Perrotti V, Iezzi G, Piatelli A Maxillary sinus augmentation with a porous synthetic hydroxyapatite and bovine derived hydroxyapatite: A comparative clinical and histological study. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2007;22:980-986
14. Shanbhag S, Shanbhag V, Stravopoulos A. Volume changes of maxillary sinus augmentations over time: a systematic review *Int J Oral Maxillofacial Implants*, 2014, Jul-Aug;29(4):881-92
15. Klein GG, Curvello VP, Dutra RA, Simeão SP, Santos PL, Gulinelli JL, Filho HN. Bone Volume Changes After Sinus Floor Augmentation with Heterogenous Graft. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2016 May-Jun;31(3):665
16. Zamure-Damberg, Liene et al. Long-Term Volumetric Stability of Maxillary Sinus Floor Augmentation Using a Xenograft Bone Substitute and Its Combination with Autologous Bone: A 6+ Year Retrospective Follow-Up Study Using Cone Beam Computed Tomography. *Dentistry Journal*, v. 12, n. 5, p. 121, 2024.
17. Raghoobar, GM., Onclin P., Boven Carina, G., Vissink, A. Long-term effectiveness of the maxillary sinus floor augmentation: A systematic review and meta-analysis *J Clin Periodontol.* 2019;46 (Suppl. 21):307-318
18. Zhang Y, Tangl S, Huber CD, Lin Y, Qiu L, Raush-Fan X. Effects of Choukrroun's platelet rich fibrin on bone regeneration in combination with DBBM in maxillary sinus augmentation: a histological and histomorphometric study. *J Craniomaxillofac Surg* 2012;40:321-328

19. Kirmeier R, Arnetzl C, Robl T, Prayer M, Lorenzoni M, Jakse N Reproducibility of volumetric measurements on maxillary sinuses *Internat J Oral Maxillofacial Surg* 2011;40(2):195-9
20. Giacomini G, Pavan ALM, Altemani JMC, Duarte SB, Fortaleza CMCB, Miranda JRdA et al) Computed tomography-based volumetric tool for standardized measurement of the maxillary sinus.2018 *PLoS ONE* 13(1)
21. Sahlstrad-Johnson P, Janner M, Strombeck A, Abul-Kasim K Computed tomography measurements of different dimensions of maxillary and frontal sinuses *BMC Med.Imaging* 2011;11:8
22. Cohen O, Warman M, Fried M, Shoffel-Havaku H, Adi M, Halperin D et al Volumetric analysis of the maxillary, sphenoid and frontal sinuses: A comparative computerized tomography based study 2017 *Auris, nasus, larynx*
23. Uchida Y, Goto M, Katsuki T, Soejima Y. Measurement of maxillary sinus volume using computerized tomographic images. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1998;13:811–8
24. Jensen OT, Shulman LB, Block MS, Iacono VJ. Report of the Sinus Consensus Conference of 1996. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1998;13 Suppl:11-45.
25. Arias-Irimia O, Dorado CB, Moreno GG, Brinkmann JCB, Martínez-González JM. Pre-operative measurement of the volume of bone graft in sinus lifts using CompuDent. *Clin Oral Implants Res*. 2012;23:1070–4
26. Sheiki M, Haghigat A, Lourizadeh N, Tavangar H, Aryaee P, Evaluation of the effect of direct sinus lift surgery on maxillary sinus volume bt Mimics software. *Natl J Maxillofac Surg* 2023;14:198-207
27. Neimane L, Zamure L, Klimecs V, Grišūlonoks A, Skagers A, Ivanovs . Cone beam computed tomography evaluation of maxillary sinus before and after sinus floor elevation 2A. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences Section B Natural, Exact, and Applied Sciences*. Sciendo, 2019