

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

ENXERTOS ÓSSEOS AUTÓGENOS PERI-IMPLANTARES

Trabalho submetido por
Seval KARAHAN
para a obtenção do grau de Mestre em Medicina Dentária

Junho de 2025

INSTITUTO UNIVERSITÁRIO EGAS MONIZ

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA DENTÁRIA

ENXERTOS ÓSSEOS AUTÓGENOS PERI-IMPLANTARES

Trabalho submetido por
Seval KARAHAN
para a obtenção do grau de **Mestre** em Medicina Dentária

Trabalho orientado por
António Mano Azul

Junho de 2025

Cumhuriyetimizin kurucusu Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ü saygı ve minnetle anıyor, bilime ve eğitime verdiği önem doğrultusunda bu çalışmayı onun izinden giderek gerçekleştirmiş olmanın gururunu yaşıyorum.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão ao Professor António Mano Azul, cuja experiência, dedicação e conselhos valiosos foram fundamentais para a concretização desta tese e representaram um apoio indispensável ao longo de todo este percurso. E por tudo o que me ensinou ao longo destes dois últimos anos, contribuindo de forma significativa para o meu crescimento académico.

Agradeço o Instituto Universitário Egas Moniz pela qualidade do seu ensino e pelo seu empenhamento na nossa formação.

Agradeço a todo o corpo docente da clínica de cirurgia por me transmitir tanto conhecimento e por despertar minha paixão pela cirurgia.

À mes parents, vous avez été mon plus grand soutien depuis le début. Votre amour, votre patience et vos sacrifices m'ont porté dans chaque étape de ce parcours. Sans vous, je n'en serais pas là aujourd'hui. Ma réussite est la vôtre. Bir an bile desteğinizi esirgemedim, sevginizle, emeğinizle ve sabrınızla beni bugünlere getiren canım annem ve canım babam... Bu zorlu süreçte en büyük motivasyon kaynağım siz oldunuz. En çok ihtiyaç duyduğum anlarda yanımda oldunuz, varlığınıza bana huzur ve cesaret verdiniz. Bana inandığınız, cesaretlendirdiğiniz ve her adımda yanımda olduğunuz için size minnettarım. Bu çalışmayı, en kıymetlilerim olarak, sizlere armağan ediyorum.

À ma grande sœur Sef, que j'aime plus que tout, ma dentiste préférée, mon modèle, un repère, une source constante de motivation. Ses conseils et son soutien ont été tout au long de mes études une influence majeure sur ma posture et sur ma manière d'envisager le métier. Sa présence rassurante et son écoute attentive m'ont aidée à garder confiance et à persévérer dans les moments de doute. Merci d'exister, sans toi je n'en serai pas là.

À mes petites sœurs, Nisa, Badel, Nazli, merci d'avoir été des éclats de lumière dans ma vie et de m'avoir soutenue même sans toujours comprendre ce que je faisais. Je vous aime.

A Ilyas, mon parceiro, mon meilleur ami... Merci d'avoir toujours été là, pour ton soutien constant, ta patience, et pour avoir grandi avec moi. Ta présence a été précieuse et essentielle à chaque étape de ce parcours, surtout quand j'arrive en retard à la clinique.

À ozy, desteğin, ve her zaman yanımda olduğun için teşekkür ederim. Brother from another mother.

À mes amis les plus précieux, Dina et Aminzo merci pour votre présence, votre bienveillance, et votre bonne humeur contagieuse. Ce n'est que le début.

À l'ensemble de ma famille, pour leur soutien, leurs encouragements tout au long de ces cinq années d'études. Leur présence a été un véritable pilier.

RESUMO

Os dentes desempenham um papel essencial na mastigação, fonação e estética facial, mas a sua estabilidade depende inteiramente da qualidade e volume do osso alveolar.

Qualquer deterioração deste suporte ósseo, seja fisiológica, patológica ou traumática pode comprometer o equilíbrio funcional e estético da cavidade oral, mas também a estabilidade do implante e o sucesso da reabilitação oral.

Face a estas perdas, os enxertos ósseos autógenos são a solução de eleição devido as suas propriedades biológicas únicas: a capacidade de gerar osso novo (osteogenicidade), de induzir a diferenciação celular (osteoindução) e de apoiar a regeneração (osteocondução). Utilizadas tanto em reconstruções simples como complexas, apresentam uma elevada taxa de sucesso e uma excelente integração com o tecido recetor, minimizando o risco de rejeição imunitária.

No entanto, a sua eficácia depende de muitos fatores, como o local do dador, a técnica cirúrgica, a vascularização local e a gestão das complicações pós-operatórias.

Com base nos conhecimentos fundamentais da biologia óssea e nos avanços clínicos da implantologia, este estudo realça o grande interesse dos enxertos autógenos nas estratégias modernas de regeneração óssea.

Palavras-chave : Autoenxertos ósseos; osteoindução; osteocondução; perda óssea; locais dadores.

ABSTRACT

Teeth play an essential role in mastication, phonation and facial aesthetics, but their stability depends entirely on the quality and volume of the alveolar bone.

Any deterioration of this bone support, whether physiological, pathological or traumatic, can compromise the functional and aesthetic balance of the oral cavity, but also the stability of the implant and the success of oral rehabilitation.

Faced with these losses, autogenous bone grafts are the solution of choice due to their unique biological properties: the ability to generate new bone (osteogenicity), induce cell differentiation (osteoiduction) and support regeneration (osteoconduction). Used in both simple and complex reconstructions, they have a high success rate and excellent integration with the recipient tissue, minimizing the risk of immune rejection.

However, their effectiveness depends on many factors, such as the donor site, the surgical technique, local vascularization and the management of post-operative complications.

Based on fundamental knowledge of bone biology and clinical advances in implantology, this study highlights the great interest of autogenous grafts in modern bone regeneration strategies.

Keywords: Bone autografts; osteoiduction; osteoconduction; bone loss; donor sites.

ÍNDICE GERAL

| | |
|--|----|
| 1. ÍNDICE DE FIGURAS | 9 |
| 2. ÍNDICE DE TABELAS | 13 |
| 3. ÍNDICE DE SIGLAS | 15 |
| I. INTRODUÇÃO..... | 17 |
| II. DESENVOLVIMENTO..... | 19 |
| 1 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO TECIDO ÓSSEO..... | 19 |
| 1.1 MORFOLOGIA DO TECIDO OSSEO..... | 19 |
| 1.1.1 Características gerais do tecido ósseo | 19 |
| 1.1.2 Características do osso alveolar..... | 19 |
| 1.1.2.1 Osso alveolar propriamente dito..... | 20 |
| 1.1.2.2 Processo alveolar | 20 |
| 1.1.3 Nível macroscópico | 21 |
| 1.1.3.1 Osso cortical | 21 |
| 1.1.3.2 Osso trabecular | 22 |
| 1.1.4 Nível microscópico..... | 23 |
| 1.1.4.1 Tecido ósseo primário | 23 |
| 1.1.4.1.1 Osso fibroso reticulado (<i>Woven bone</i>)..... | 23 |
| 1.1.4.2 Tecido ósseo secundário..... | 23 |
| 1.1.4.2.1 Osso lamelar | 23 |
| 1.1.5 Composição óssea..... | 24 |
| 1.1.5.1 Matriz extracelular..... | 24 |
| 1.1.5.2 Células ósseas | 24 |
| 1.1.5.2.1 Células osteogénicas..... | 24 |
| 1.1.5.2.2 Osteoblastos..... | 25 |
| 1.1.5.2.3 Osteócitos | 25 |
| 1.1.5.2.4 Osteoclastos | 26 |
| 1.1.6 Remodelação óssea: um processo dinâmico e essencial | 26 |
| 1.1.7 Conceitos de osteogénese, osteocondução e osteoindução | 27 |
| 1.1.7.1 Osteogénese | 27 |
| 1.1.7.2 Osteocondução..... | 28 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 1.1.7.3 | Osteoindução | 28 |
| 1.1.8 | Conceito de osteointegração | 29 |
| 1.1.8.1 | Definição | 29 |
| 1.1.8.2 | Fases da osteointegração | 29 |
| 1.1.8.3 | Fatores que influenciam o sucesso dos implantes osteointegrados | 30 |
| 2. | REABSORÇÃO DO OSSO ALVEOLAR..... | 31 |
| 2.1 | ETIOLOGIA..... | 32 |
| 2.1.1 | Origem fisiológica | 32 |
| 2.1.1.1 | Idade | 32 |
| 2.1.1.2 | Processo fisiológico ligado à extração..... | 32 |
| 2.1.2 | Origem patológica | 34 |
| 2.1.2.1 | Doença periodontal..... | 34 |
| 2.1.2.2 | Origem alimentar | 34 |
| 2.1.2.3 | Osteoporose | 35 |
| 2.1.2.4 | Diabetes mellitus | 35 |
| 2.2 | CLASSIFICAÇÃO DO OSSO ALVEOLAR..... | 35 |
| 2.2.1 | Classificação da qualidade óssea..... | 36 |
| 2.2.1.1 | Impacto da qualidade do osso no sucesso do implante | 36 |
| 2.2.1.2 | Classificação de Lekholm & Zarb (1985) | 37 |
| 2.2.1.3 | Classificação de Misch (1999) | 38 |
| 2.2.2 | Classificação da quantidade de osso..... | 39 |
| 2.2.2.1 | Classificação de Cawood & Howell (1988) | 39 |
| 2.2.2.2 | Nova classificação baseada em imagens de CBCT | 41 |
| 3. | ENXERTOS ÓSSEOS AUTÓGENOS..... | 44 |
| 3.1 | EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO ENXERTO ÓSSEO E SUA APLICAÇÃO NA IMPLANTOLOGIA DENTÁRIA | 44 |
| 3.2 | ENXERTOS E SUBSTITUTOS ÓSSEOS..... | 45 |
| 3.2.1 | Definições..... | 45 |
| 3.3 | CARACTERÍSTICAS IDEAIS DE UM MATERIAL DE REGENERAÇÃO | 46 |
| 3.4 | CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE ENXERTO ÓSSEO | 47 |
| 3.4.1 | Autoenxertos..... | 47 |
| 3.4.1.1 | Propriedades biológicas e considerações..... | 48 |
| 3.4.1.1.1 | Autoenxerto de osso esponjoso | 49 |

| | | |
|-----------|---|----|
| 3.4.1.1.2 | Autoenxerto de osso cortical | 49 |
| 3.4.1.1.3 | Autoenxerto de osso cortico-esponjoso | 51 |
| 3.4.1.1.4 | Autoenxerto de osso vascularizado | 51 |
| 3.4.1.1.5 | Gestão e armazenamento de enxertos ósseos autógenos | 51 |
| 3.4.1.2 | Vantagens e limitações dos enxertos autógenos | 52 |
| 3.4.1.2.1 | Benefícios clínicos | 52 |
| 3.4.1.2.2 | Limitações e desvantagens | 53 |
| 3.4.2 | Aloenxerto | 53 |
| 3.4.3 | Enxertos aloplásticos : materiais de substituição óssea sintética | 55 |
| 3.4.4 | Xenoenxerto | 56 |
| 3.5 | TECNICAS CIRURGICAS DE ENXERTO OSSEO | 57 |
| 3.5.1 | Autoenxerto onlay | 57 |
| 3.5.2 | Autoenxerto Inlay ou técnica de sanduíche | 58 |
| 3.6 | CONTRA-INDICAÇÕES | 59 |
| 3.7 | LOCAIS DADORES | 59 |
| 3.7.1 | Seleção | 59 |
| 3.7.2 | Locais intra-orais | 60 |
| 3.7.2.1 | Mandíbula | 61 |
| 3.7.2.1.1 | Sínfise mandibular | 62 |
| 3.7.2.1.2 | Ramo mandibular | 66 |
| 3.7.2.1.3 | Tórus Mandibular | 69 |
| 3.7.2.2 | Maxila | 70 |
| 3.7.2.2.1 | Tuberosidade maxilar | 70 |
| 3.7.3 | Locais extra-orais | 72 |
| 3.7.3.1 | Íliaco | 72 |
| 3.7.3.2 | Osso parietal | 72 |
| 3.7.3.3 | Tíbia | 75 |
| 3.8 | COMPLICAÇÕES | 76 |
| 3.8.1 | Complicações pós-operatórias | 77 |
| 3.8.1.1 | Complicações imediatas | 77 |
| 3.8.1.1.1 | Hematomas | 77 |
| 3.8.1.1.2 | Equimose | 78 |
| 3.8.1.1.3 | Perturbações sensoriais | 78 |
| 3.8.1.1.4 | Exposição do enxerto | 79 |

| | | |
|-----------|----------------------------------|----|
| 3.8.1.2 | Complicações secundárias..... | 79 |
| 3.8.1.2.1 | Infeções..... | 79 |
| 3.8.1.3 | Complicações tardias..... | 80 |
| 3.8.1.3.1 | Pseudoartrose..... | 80 |
| 3.8.1.3.2 | Reabsorção..... | 81 |
| 3.8.2 | Complicações da zona dadora..... | 82 |
| 3.8.2.1 | Sínfise mandibular..... | 83 |
| 3.8.2.2 | Ramo mandibular..... | 83 |
| 3.8.2.3 | Tuberosidade maxilar..... | 84 |
| 3.8.2.4 | Íliaco..... | 85 |
| 3.8.2.5 | Oso parietal..... | 85 |
| 3.8.2.6 | Tíbia..... | 86 |
| III. | CONCLUSÃO..... | 87 |
| IV. | BIBLIOGRAFIA..... | 89 |

1. ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Estrutura óssea do processo alveolar, secção transversal da mandíbula. Imagem cedida por Lorimier & Kemoun. | 21 |
| Figura 2. Estrutura óssea básica e sistema haversiano. Adaptada de (Sharma & Heagerty, 2017). | 22 |
| Figura 3. Remodelação óssea fisiológica. Imagem adaptada de (Siddiqui & Partridge, 2016)..... | 27 |
| Figura 4. Fases da osseointegração e alterações na estabilidade do implante. Adaptada de (Abd Wahab et al., 2022)..... | 30 |
| Figura 5. Anatomia dos ossos maxilares, descrevendo os 4 tipos de ossos. Adaptada de (Jaffin & Berman, 1991). | 36 |
| Figura 6. Classificação da qualidade óssea de Lekholm & Zarb. Adaptada de (Alghamdi, 2018)..... | 37 |
| Figura 7. Diagrama dos diferentes tipos de ossos de acordo com Misch. Esquema adaptada de (Wadhvani et al., 2021)..... | 39 |
| Figuras 8. (A) Classificação da mandíbula anterior (anterior ao forame mental). (B) Classificação da mandíbula posterior (posterior ao forame mental). (C) Classificação da maxila anterior. (D) Classificação da maxila posterior. Diagramas adaptadas de (Cawood & Howeel, 1988). | 40 |
| Figura 9. Medição da densidade do osso esponjoso e da espessura do osso cortical no local do implante dentário. Imagem adaptada de (Wang et al., 2023). | 42 |
| Figura 10. (Esquerda) Diagrama esquemático da nova classificação óssea; três espessuras diferentes (A, B, C) e três densidades diferentes de osso esponjoso (1, 2, 3) (Direita). Adaptada de (Wang et al., 2023)..... | 43 |
| Figura 11. (A) Locais dadores de sínfise e de ramo. (B) Fixação do bloco com mini-parafusos. (C). Colocação de implantes após a cicatrização. Imagens cedidas por (Burdurlu et al., 2019). | 58 |
| Figura 12. Técnica de sanduiche. Imagens cedidas por (Abdullah Özel). | 58 |
| Figura 13. Abordagem sulcular limitada (linhas cinzentas) e abordagem sulcular alargada (linhas pontilhadas). Imagem adaptada de (Tulasne & Andreani, 2004). | 62 |
| Figuras 14. Incisão vestibular baixa no plano superficial perpendicular ao eixo dos dentes. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012). | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 15. Incisão do plano profundo no contacto ósseo perpendicular ao ao eixo dos dentes. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012)..... | 63 |
| Figura 16. Exposição do local de colheita. Imagem cedida por (Seban & Bonnaud, 2012). | 63 |
| Figuras 17. Duas linhas verticais e duas horizontais delimitam a osteotomia do enxerto paraespinhoso. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012). | 64 |
| Figuras 18. A osteotomia é completada com um cinzel de osso reto e angulado. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012). | 64 |
| Figuras 19. Um segmento corticoesponjoso é mobilizado e dissociado da zona dadora. O osso esponjoso é recuperado das camadas profundas quando o volume ósseo é substancial. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012)..... | 64 |
| Figura 20. (A) Exposição da sínfise mandibular na área dadora. (B) Perfurações corticais na área dadora. (C) Corte do bloco de osso autólogo na sínfise. (D) Perfurações corticais na área recetora. (E) Posicionamento do enxerto ósseo no local recetor. (F) Fixação do enxerto por meio de parafusos. Imagens cedidas por António Mano Azul. | 65 |
| Figura 21. Para restaurar a morfologia, um substituto ósseo preenche o defeito criado pela remoção. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012)..... | 65 |
| Figuras 22. Uma sutura descontínua com um fio absorvível assegura o fecho do plano profundo. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012). | 66 |
| Figuras 23. Fecho do plano de superfície. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud 2012)..... | 66 |
| Figura 24. Uma ligadura limita o edema pós-operatório. Imagem cedida por (Seban & Bonnaud, 2012). | 66 |
| Figura 25. Local dador do ramo mandibular. Imagem cedida por (Silva et al., 2006). | 66 |
| Figura 26. Área de colheita: está localizada anteriormente à projeção lateral da coluna vertebral de Spix (ponto preto) e atrás do foramen mental. Imagem adaptada de (Tulasne & Andreani, 2004)..... | 68 |
| Figura 27. Utiliza-se um elevador de Potts para retirar o enxerto de ramo da mandíbula. Imagem cedida por (Misch, 2015)..... | 68 |
| Figura 28. Um dispositivo de raspagem óssea é utilizado para colher partículas de osso da região do ramo. Imagem cedida por (Misch, 2015)..... | 68 |
| Figuras 29. (A) Tórus lingual exposto. (B) Tórus fixado no rebordo como enxerto onlay com parafusos de 6 mm. (C) Colocação de 3 implantes. Imagens cedidas por (Jun et al., 2010)..... | 69 |

| | |
|---|----|
| Figura 30. Local dador da tuberosidade maxilar. Imagem cedida por (Silva et al., 2006) | 71 |
| Figura 31. A TAC craniana efetuada antes do enxerto é utilizada para avaliar a espessura do osso parietal e o estado da diploia. Imagem cedida por (Leclercq et al., 2007). | 73 |
| Figura 32. Delineação do tamanho dos principais planaltos corticospongiais utilizando uma broca esférico de grandes dimensões (A). Os tabuleiros são então cuidadosamente removidos: uma serra circular de diamante é utilizada para iniciar o bordo diplomático profundo antes de o enxerto ser levantado com um cinzel (B). Imagens cedidas por (Leclercq et al., 2007). | 74 |
| Figura 33. Estruturas anatómicas da tibia proximal. Adaptada de (Herford & Dean, 2011). | 76 |
| Figura 34. Situação pós-operatória 7 dias após o procedimento de regeneração óssea no quadrante superior esquerdo. Nota-se uma equimose notável que se deslocou para o terço inferior da face. Imagem cedida por (Sanz-Sánchez et al., 2022). | 78 |
| Figura 35. Presença de supuração na ausência de exposição aparente do enxerto dois meses após a intervenção cirúrgica. Imagem cedida por (Sanz-Sánchez et al., 2022). | 80 |
| Figura 36. Corte axial mostrando pseudartrose de dois enxertos pré-maxilares cortico-sponjoso com exceção do bordo direito do enxerto de aposição no sector 1. Imagem cedida por (Tulasne & Andreani, 2004). | 81 |

2. ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Sistema de classificação da densidade óssea de Misch. Adaptada de (Wadhvani et al. 2021)..... | 39 |
| Tabela 2. Outras classificações de perda óssea alveolar relatadas na literatura (Allen et al., 1985; Yang & Wessel, 2017; Farith N et al., 2024). | 43 |
| Tabela 3. Diferentes procedimentos de tratamento de enxertos ósseos e seus efeitos. (Tulasne & Andreani, 2004). | 54 |
| Tabela 4. Tabela resumo das vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de enxertos ósseos. Adaptada de (Seban & Bonnaud, 2012). | 57 |
| Tabela 5. Distribuição dos locais dadores intra-orais, locais utilizados para aumentar o volume do rebordo alveolar antes da colocação do implante (Silva et al., 2006). | 61 |
| Tabela 6. Tabela recapitulativo dos enxertos colhidos na mandíbula. Adaptada de (Seban & Bonnaud, 2012). | 70 |

3. ÍNDICE DE SIGLAS

bFGF: Fator de crescimento de fibroblastos básico

BMP-2: Proteína morfogenética óssea 2

BMP-7: Proteína morfogenética óssea 7

CBCT: Tomografia computadorizada de feixe conico

DBM: Matriz óssea desmineralizada.

DFDBA: Demineralized Freeze-Dried Bone Allograft

GV: Gravidade Volúmica

ROG: Regeneração óssea guiada

TC: Tomografia computadorizada

TGF-β: Fator de Crescimento Transformador beta

I. INTRODUÇÃO

A extração dentária é um procedimento frequente e comum em medicina dentária, efetuado por diversos motivos, incluindo cáries avançadas, fraturas não restauráveis, patologias periodontais, necessidades ortodônticas, tratamento endodônticos ou protéticos falhados, bem como traumatismos e lesões patológicas. Apesar de ser um procedimento bastante difundido, desencadeia uma série de processos biológicos que levam a alterações na homeostasia e na arquitetura óssea local. Estas alterações, principalmente decorrentes da resposta inflamatória induzida pelo trauma cirúrgico, tornam inevitável a reabsorção óssea após a extração dentária (Quisiguina Salem et al., 2023).

Atualmente, preservar ou restaurar a função e a estética orais, particularmente através da substituição de dentes perdidos, é um dos principais objetivos da reabilitação oral. Esta abordagem leva os clínicos a procurar um local ótimo para a colocação de implantes. No entanto, estudos demonstram que a reabsorção significativa do rebordo alveolar após a extração pode comprometer a reabilitação oral com implantes levando a complicações adicionais (Quisiguina Salem et al., 2023).

Conseqüentemente, para melhorar a qualidade e a quantidade da crista alveolar deficiente, são utilizados materiais de enxerto ósseo e outros substitutos.

Anualmente, são efetuados mais de 2,2 milhões de procedimentos de enxerto ósseo em todo o mundo (Hannink & Arts, 2011).

Os enxertos ósseos desempenham um papel fundamental na reconstrução do tecido ósseo perdido, favorecendo a regeneração óssea e proporcionando suporte mecânico para futuras reabilitações protéticas (Zhao et al., 2021).

Em medicina dentária, os materiais utilizados para esse fim são substâncias que promovem a formação de novo tecido ósseo através de três propriedades biológicas fundamentais : osteogénicos, osteoindutivos, osteocondutores. Esses termos são fundamentais para a escolha adequada dos materiais de enxerto (Nazirkar et al., 2014).

Vários materiais podem ser utilizados para a preservação alveolar, classificados de acordo com a sua origem : autoenxertos, xenoenxertos, aloenxertos, e enxertos aloplásticos que podem ser complementados pela utilização de fatores de crescimento ou células estaminais para estimular a regeneração dos tecidos (Quisiguiña Salem et al., 2023).

Comparado a todos os outros métodos operatórios mencionados anteriormente, o autoenxerto é considerado o *gold standard*, graças às suas propriedades osteocondutoras, osteoindutoras e osteogénicas, o que o torna superior aos substitutos ósseos e materiais compostos. Devido às suas características únicas e à ausência de riscos imunológicos, continua sendo a escolha de referência para os procedimentos de regeneração óssea, sendo ainda visto como o material mais eficaz. As taxas de sucesso são excepcionalmente altas, ultrapassando os 95%, mesmo em situações complexas, como as grandes reconstruções necessárias para mandíbulas gravemente reabsorvidas (Sakkas et al., 2017).

O objetivo desta tese é explorar o valor dos enxertos ósseos autógenos antes da colocação de implantes. Começa-se por estudar as características do tecido ósseo, os seus mecanismos de reabsorção e os principais critérios a ter em conta antes da colocação de implantes. De seguida, o enfoque será dado aos enxertos autógenos, analisando as suas vantagens e limitações, bem como as principais técnicas cirúrgicas utilizadas para compensar a perda óssea. Por fim, serão analisados os locais doadores e as potenciais complicações, de modo a proporcionar uma visão geral dos problemas e soluções na reconstrução óssea pré-implantação.

II. DESENVOLVIMENTO

1 Estrutura e organização do tecido ósseo

As técnicas cirúrgicas para aumentar o volume ósseo baseiam-se na capacidade natural do osso para se regenerar através da remodelação óssea (Seban et al., 2011), um processo dinâmico que envolve a reabsorção diária de cerca de 0,7% do esqueleto e a formação de osso novo. Este mecanismo pode ser perturbado por fatores patológicos, fisiológicos ou iatrogênicos, levando a uma redução do volume ou da qualidade óssea justificando a utilização de enxertos (Marx & Garg, 1998). Assim, é fundamental compreender a organização do tecido ósseo, os seus tipos e células, e os fatores que influenciam a sua disponibilidade, de forma a escolher os protocolos terapêuticos mais adequados (Sodek & McKee, 2000).

1.1 Morfologia do tecido ósseo

1.1.1 Características gerais do tecido ósseo

O osso é um biomaterial complexo e de elevado desempenho (Hart et al., 2020). Ele tem um papel essencial no organismo, tanto a nível mecânico como metabólico. Além de proporcionar apoio, proteção e mobilidade, a sua função é influenciada por elementos sistêmicos, como as hormonas, e por elementos locais, como os fatores de crescimento e as citocinas (Carleto Andia et al., 2006). Apesar da sua aparência rígida, o osso está longe de ser uma estrutura estática. É um tecido vivo, em constante renovação (Toppets et al., 2004) em resposta a estímulos fisiológicos e patológicos (Suchetha et al., 2017). Este processo de remodelação pode levar à formação, manutenção, ou seja, à homeostasia, ou à perda de massa óssea (reabsorção), dependendo das necessidades do organismo (Hart et al., 2020).

1.1.2 Características do osso alveolar

O osso alveolar é um elemento-chave dos maxilares (Sodek & McKee, 2000) formando com o ligamento periodontal e o cimento os três tecidos de suporte do dente (Chu et al., 2013). Embora partilhe a estrutura e a composição de outros ossos do corpo, distingue-se por uma remodelação constante e rápida, induzida pela erupção dentária e pelas forças mastigatórias (Sodek & McKee, 2000).

Anatomicamente, é específico da mandíbula e da maxila, onde se desenvolve acima do osso basal, em contacto direto com os dentes. A sua presença depende dos dentes, e a sua perda leva a uma reabsorção progressiva (Ramalingam et al., 2020).

Funcionalmente, é feita uma distinção entre o osso alveolar propriamente dito e o processo alveolar dos maxilares (Suchetha et al., 2017). A compreensão desta dinâmica é essencial quando se considera uma restauração protética após o edentulismo.

O surgimento da implantologia moderna, baseada na osteointegração, transformou profundamente a medicina dentária, colocando a preservação e reconstrução do osso alveolar no centro das preocupações atuais. O controlo biológico e funcional do osso alveolar é agora essencial para o sucesso do tratamento com implantes (Ramalingam et al., 2020).

1.1.2.1 Osso alveolar propriamente dito

O osso alveolar propriamente dito, também conhecido como o *bundle bone*, ou placa cribriforme, é uma fina camada de osso denso que reveste o alvéolo dentário, formando a interface direta entre a raiz do dente e o processo alveolar. Serve como ponto de ancoragem para as fibras de *Sharpey* derivadas do ligamento periodontal, garantindo uma fixação sólida do dente e permitindo que as forças mastigatórias sejam transmitidas ao osso circundante. Radiologicamente, aparece como uma linha branca densa chamada lâmina dura, um indicador útil da saúde do osso alveolar. Funcionalmente, está envolvida na remodelação ativa do periodonto, adaptando-se constantemente a estímulos mecânicos, o que a torna um elemento fundamental para a manutenção do dente em oclusão. Após a extração dentária, este tecido é rapidamente reabsorvido, devido à sua elevada rotatividade e dependência da presença do dente, resultando numa perda óssea de 29% até 63% em largura e 11% a 22% em altura nos primeiros seis meses (Chu et al., 2013; Ulm et al., 2022).

1.1.2.2 Processo alveolar

Esta estrutura óssea desenvolve-se para acomodar o germe dentário em desenvolvimento e, após a erupção dos dentes, para alojar as suas raízes. Desempenha um papel essencial no suporte mecânico dos dentes. Quando se perdem os dentes, esta estrutura deixa de ser funcional e sofre uma reabsorção progressiva. O processo alveolar é constituído por uma

camada exterior de osso cortical e um núcleo interior de osso esponjoso (ver 1.1.3). Também alberga os nervos e os vasos sanguíneos que suportam o osso e os dentes, bem como uma medula óssea rica em células adiposas, células osteogênicas e tecido hematopoiético ativamente envolvido na renovação óssea (Chu et al., 2013).

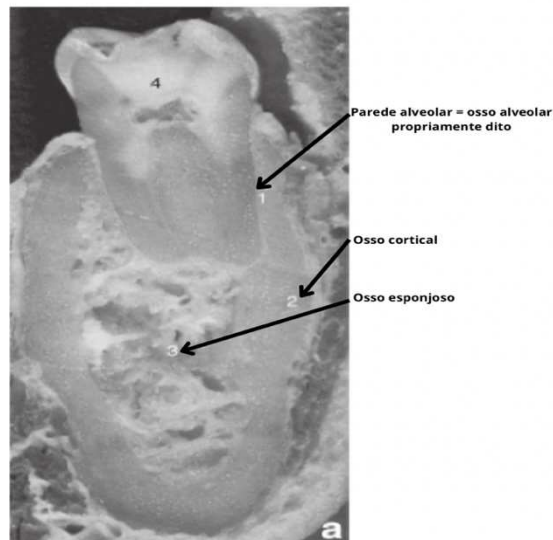


Figura 1. Estrutura óssea do processo alveolar, seção transversal da mandíbula. Imagem cedida por Lorimier & Kemoun.

1.1.3 Nível macroscópico

A olho nu, o tecido ósseo apresenta duas formas principais: o osso cortical (ou compacto), que é denso e periférico, e o osso trabecular (ou esponjoso), que é mais poroso e central, formado por uma rede de trabéculas ósseas que envolvem cavidades preenchidas por medula óssea (Carleto Andia et al., 2006). Embora partilhem uma composição matricial semelhante, estes dois tipos de osso diferem em termos de estrutura, função e distribuição (Weatherholt et al., 2012). Esta complementaridade é explorada nos enxertos ósseos. A combinação do osso cortical, pela sua resistência mecânica, e do osso trabecular, pelo seu potencial regenerativo, permite criar enxertos cortico-esponjosos que são simultaneamente resistentes e biologicamente ativos (Seban et al., 2011).

1.1.3.1 Osso cortical

O osso cortical representa cerca de 85% da massa óssea e caracteriza-se por uma baixa porosidade, entre 5 e 30%, o que lhe confere uma elevada resistência à compressão, tornando-o um elemento fundamental na função mecânica do esqueleto (Weatherholt et

al., 2012). É formado por osso lamelar organizado em osteões (unidades cilíndricas) ou sistemas de Havers, compostos por lamelas concêntricas que rodeiam um canal central (canal de Havers) (Baig & Bacha, 2023) contendo vasos sanguíneos e um nervo amielínico, assegurando a vascularização e a inervação dos osteócitos e contribuindo assim para a resistência mecânica do osso e a difusão de nutrientes (Bert, 2021a). O diâmetro dos osteões varia entre 50 e 500 µm (Collins et al., 2019).

A espessura do osso cortical varia de acordo com a região anatômica, sendo mais fina na maxila e mais espessa na mandíbula, particularmente nos pré-molares e molares, um parâmetro importante a considerar no planejamento de implantes (Chu et al., 2013).

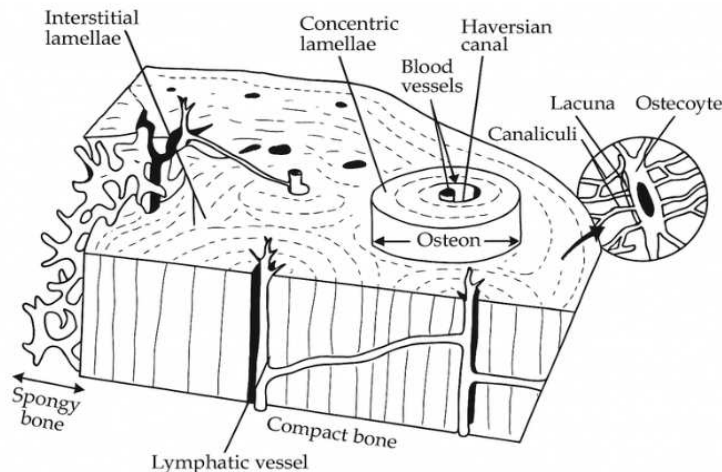


Figura 2. Estrutura óssea básica e sistema haversiano. Adaptada de (Sharma & Heagerty, 2017).

1.1.3.2 Osso trabecular

O osso trabecular está localizado entre o osso alveolar propriamente dito e o osso cortical do processo alveolar (Suchetha et al., 2017; Hart et al., 2020) representando cerca de 15% da massa óssea total. Apresenta uma elevada porosidade que varia entre 30% e 90%, o que lhe permite distribuir as forças mastigatórias e suportar os dentes (Toppets et al., 2004). As suas cavidades contêm a medula amarela, rica em células mesenquimatosas indiferenciadas (capazes de se tornarem osteoblastos, fibroblastos, etc); e a medula vermelha, com uma função hematopoiética que produz glóbulos vermelhos e brancos, plaquetas e monócitos, alguns dos quais se diferenciam em macrófagos e osteoclastos (Bert, 2021a). Rico em células ativas, o osso trabecular é um local central para a remodelação óssea e um excelente enxerto graças ao seu potencial osteogénico, à viabilidade celular pós-manipulação, à resistência à infecção, à estrutura porosa que facilita

a migração celular (Seban et al., 2011) e à rápida revascularização, observável logo 5 a 8 dias após o enxerto atraumático (Albrektsson, 1980, citado em Seban et al., 2011). A sua eficácia baseia-se num mecanismo celular complexo, estimulado por fatores de crescimento que promovem a diferenciação das células mesenquimatosas em osteoblastos, as células responsáveis pela formação óssea (Seban et al., 2011).

1.1.4 Nível microscópico

Microscopicamente, o tecido ósseo pode ser classificado de acordo com diferentes critérios, nomeadamente em função da disposição das fibras de colagénio, o que permite identificar vários tipos histológicos :

1.1.4.1 Tecido ósseo primário

1.1.4.1.1 Osso fibroso reticulado (*Woven bone*)

O *woven bone*, uma forma específica de tecido ósseo primário, apresenta uma disposição totalmente desorganizada das fibras de colagénio, formando o osteoide, uma matriz extracelular não mineralizada. Esta estrutura resulta da rápida secreção de osteoide pelos osteoblastos, o que confere a este tecido uma baixa resistência mecânica. Está presente principalmente nos fetos e nas crianças durante o período de crescimento, nomeadamente quando as tensões mecânicas são baixas e não direcionais, e tende a desaparecer por volta dos 14-16 anos. No adulto, pode reaparecer temporariamente durante a reparação óssea (fraturas) ou em certas patologias como a osteomielite, os tumores ósseos ou a doença de Paget (Carleto Andia et al., 2006; Toppets et al., 2004). É gradualmente substituído, através de remodelação, por osso lamelar, que é mais organizado e mecanicamente resistente, garantindo assim a solidez do esqueleto adulto (Toppets et al., 2004).

1.1.4.2 Tecido ósseo secundário

1.1.4.2.1 Osso lamelar

O osso lamelar ou osso maduro, que é muito abundante, constitui quase todo o osso adulto (Toppets et al., 2004) e substitui o osso fibroso reticulado durante a remodelação óssea (Ben Kahla & Barkaoui, 2021). Caracteriza-se por uma organização precisa das fibras de colagénio, dispostas em lamelas concêntricas que formam osteões. No interior de uma

lamela, as fibras são paralelas. Permite diferenciar dois tipos de tecido: osso compacto e osso esponjoso (ver 1.1.3.) (Toppets et al., 2004; Carleto Andia et al., 2006).

1.1.5 Composição óssea

1.1.5.1 Matriz extracelular

A matriz óssea é um composto constituído por uma parte orgânica (cerca de 20% do peso húmido), principalmente colagénio tipo I, que proporciona flexibilidade, e uma parte inorgânica (65-70%) constituída principalmente por cristais de hidroxiapatite de cálcio, responsáveis pela rigidez do osso. É a combinação equilibrada destes dois componentes que confere ao osso a sua resistência mecânica. Qualquer perturbação do colagénio ou da sua mineralização devido ao envelhecimento ou a doenças genéticas como a osteogénese imperfeita enfraquece a estrutura e aumenta o risco de fraturas (Weatherholt et al., 2012; Lin et al., 2020)

1.1.5.2 Células ósseas

As células ósseas são essenciais para o bom funcionamento do tecido ósseo (Vijayalekha et al., 2023). São derivadas de dois tipos de células estaminais: as células estaminais hematopoiéticas e as células estaminais mesenquimais. As células estaminais hematopoiéticas dão origem aos osteoclastos, responsáveis pela reabsorção óssea, enquanto as células estaminais mesenquimais dão origem às células envolvidas na formação óssea, como os osteoblastos, osteócitos, células osteoprogenitoras e células de revestimento ósseo ou *bone lining cells* (Weatherholt et al., 2012).

1.1.5.2.1 Células osteogénicas

As células osteogénicas são derivadas de células mesenquimatosas primitivas. Constituem uma população de células estaminais capazes de se diferenciar em células ósseas especializadas : os osteoblastos, e os osteócitos. No osso adulto, onde a taxa de renovação celular é relativamente baixa, estas células apresentam-se pequenas, e alongadas (fusiformes). Aparentemente inativas, são designadas por células quiescentes. Revestem as superfícies ósseas e permanecem disponíveis para reagir quando necessário, nomeadamente durante a reparação ou a remodelação óssea. Neste estado quiescente, são também conhecidas como osteoblastos em repouso ou células de revestimento endosteal,

sublinhando a sua posição estratégica nas superfícies internas do osso (Seban et al., 2011; Vijayalekha et al., 2023).

1.1.5.2.2 Osteoblastos

A osteogénese baseia-se na atividade dos osteoblastos (Seban et al., 2011).

Os osteoblastos, células responsáveis pela formação óssea, diferenciam-se localmente a partir de células estaminais mesenquimatosas presentes no estroma medular e no periósteo. Uma vez maduros, produzem proteínas da matriz óssea, nomeadamente colagénio de tipo I, osteocalcina e fosfatase alcalina, uma enzima essencial para a mineralização. Os osteoblastos ativos, organizados em filas, começam por segregar uma matriz não mineralizada denominada osteoide. Em seguida, os osteoblastos podem transformar-se em células de revestimento na superfície do osso (quiescentes ou *bone lining cells*) ou incorporar-se na matriz óssea. As células incorporadas desenvolvem então extensões citoplasmáticas que lhes permitem permanecer em contacto com as células vizinhas, assumindo o estatuto de osteócitos imaturos (Weatherholt et al., 2012). À medida que a matriz se mineraliza, estas células ficam fechadas no interior do osso, tornando-se osteócitos maduros (Kini & Nandeesh, 2012).

1.1.5.2.3 Osteócitos

Os osteócitos são as células mais numerosas do tecido ósseo (Seban et al., 2011).

Durante a formação óssea, alguns osteoblastos morrem, outros tornam-se quiescentes na superfície do osso e outros integram-se na matriz que produziram, tornando-se osteócitos. Estes últimos, alojados em lacunas (ou osteoplastos), já não constroem o osso, mas mantêm-no, controlam-no e regulam-no (Toppets et al., 2004). Graças aos seus prolongamentos dendríticos, comunicam entre si e com as células de superfície através de canalículos, assegurando a troca de sinais, de nutrientes e de oxigénio.

Os osteócitos ajudam a manter a estrutura óssea, a manter a homeostase do cálcio e a detetar microfissuras, iniciando assim processos de reparação. São células altamente resistentes, com um tempo de vida médio de cerca de 10 anos (Seban et al., 2011; Weatherholt et al., 2012).

1.1.5.2.4 Osteoclastos

Os osteoclastos são grandes células multinucleadas especializadas na reabsorção óssea (Sodek et McKee, 2000). Derivam de células estaminais hematopoiéticas que, quando estimuladas, dão origem a precursores mononucleares circulantes. Estas células migram para as zonas de osso a reabsorver, onde se fundem para formar um osteoclasto maduro. O osteoclasto liga-se à superfície óssea através de integrinas, formando um compartimento isolado (lacunas de Howship) entre o seu bordo dobrado e a matriz óssea. Dentro deste espaço, uma bomba de prótons acidifica o ambiente, permitindo a dissolução da fase mineral do osso. A matriz orgânica exposta é então degradada por enzimas proteolíticas, levando à reabsorção completa do tecido ósseo (Weatherholt et al., 2012).

1.1.6 Remodelação óssea: um processo dinâmico e essencial

Ao longo da vida, a manutenção da massa óssea assenta na renovação contínua do tecido ósseo, permitindo que o osso velho seja substituído por uma matriz equivalente. Este fenómeno, designado por remodelação óssea, é um processo fisiológico contínuo (Cohen-Solal & Vernejoul, 2003). É essencial não só para preservar as propriedades biomecânicas do osso, mas também para assegurar a sua função metabólica, regulando os níveis de cálcio e fósforo no organismo (Desoutter et al., 2012). Este processo dinâmico segue uma cronologia precisa e ordenada, caracterizada por uma alternância rigorosamente controlada entre a destruição e a reconstrução do tecido ósseo. Começa com uma fase de ativação dos osteoclastos. Segue-se a fase de inversão, uma fase de transição em que chegam os osteoblastos. Estes osteoblastos vão então sintetizar uma nova matriz osteoide (fase de aposição) que, após mineralização, substituirá o osso reabsorvido. O sucesso da remodelação baseia-se numa estreita ligação entre a reabsorção e a formação, garantindo uma renovação eficaz, equilibrada e funcional do tecido ósseo. As quatro fases-chave, ativação, reabsorção, inversão e formação, seguem-se rigorosamente umas às outras para preservar a integridade estrutural do osso. Em média, um ciclo completo de remodelação dura entre 4 e 6 meses, uma duração que influencia o sucesso de certos procedimentos clínicos, como a integração de enxertos ósseos, que exigem uma sincronização perfeita com este processo biológico (Bert, 2021b).

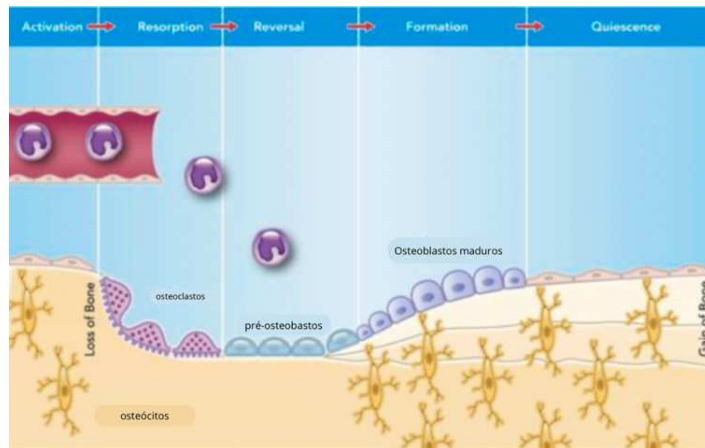


Figura 3. Remodelação óssea fisiológica. Imagem adaptada de (Siddiqui & Partridge, 2016)

1.1.7 Conceitos de osteogênese, osteocondução e osteoindução

1.1.7.1 Osteogênese

A osteogênese é a formação direta de osso por células osteogênicas, como os osteoblastos ou os seus precursores. Apenas os enxertos autógenos, que contêm células vivas osteocompetentes, são capazes de realizar este processo sem estimulação externa. Estas células produzem uma matriz osteoide, que é gradualmente mineralizada para formar osso maduro (Giannoudis et al., 2005).

Entre estes enxertos, o osso esponjoso é o mais rico em células osteogênicas e, por conseguinte, o mais osteogênico. Permite uma rápida formação óssea mas é menos acessível cirurgicamente, o que explica a preferência em implantologia pelos enxertos corticais ou cortico-esponjosos (Caplan, 1991; Tulasne & Andreani, 2004).

Dois elementos são essenciais para a formação óssea:

- Os fatores de crescimento nomeadamente os *Insulin-like growth factor I e II*, *Transforming Growth Factor beta* (TGF- β); *Platelet-Derived Growth Factor*, que estimulam a proliferação celular e a neovascularização,
- Fornecimento de sangue suficiente para assegurar a sobrevivência e a ativação das células osteogênicas (Albrektsson & Johansson, 2001).

Por fim, os enxertos autógenos funcionam também como reservatórios biológicos de proteínas osteoindutoras nomeadamente as proteínas morfogenéticas ósseas (BMPs), que libertam gradualmente à medida que são reabsorvidas, promovendo assim a formação óssea prolongada (Tulasne & Andreani, 2004; Siddiqui & Partridge, 2016).

1.1.7.2 Osteocondução

A osteocondutividade é a capacidade de um material atuar como um andaime ou *scaffold* para orientar a formação de osso recém-formado ao longo da sua superfície (Hannink & Arts, 2011). Para que um material exiba uma osteocondutividade óptima, deve promover a osteointegração e possuir uma arquitetura tridimensional adequada ao crescimento celular e à neoformação vascular (Sohn & Oh, 2019). Este crescimento ósseo baseia-se na atividade de células diferenciadas (osteoblastos ou precursores) já presentes, ou ativadas a partir de células estaminais mesenquimais através do processo de osteoindução. Na prática, a osteocondução está frequentemente associada à osteoindução, uma vez que a colocação do implante já provoca esta indução através de um traumatismo cirúrgico, suficiente para recrutar localmente células ósseas indiferenciadas. A natureza do material implantado também desempenha um papel fundamental. Alguns materiais, como o cobre ou a prata, não permitem o crescimento ósseo, enquanto outros, como o titânio puro, são altamente osteocondutores. Mesmo entre materiais semelhantes (titânio puro vs liga de titânio-alumínio), a quantidade de osso formado pode variar, embora o impacto clínico destas diferenças permaneça incerto (Albrektsson & Johansson, 2001).

1.1.7.3 Osteoindução

Para além das células ósseas já diferenciadas (osteoblastos, osteoclastos e osteócitos), o osso e os tecidos circundantes também albergam células imaturas e menos especializadas. Estas células indiferenciadas desempenham um papel essencial na regeneração óssea e na ancoragem de implantes, uma vez que podem ser recrutadas e ativadas para se tornarem precursores osteoblásticos e, posteriormente, células ósseas totalmente funcionais. Este processo é conhecido como osteoindução. Sob o efeito de um estímulo específico, denominado agente indutor, uma célula mesenquimal indiferenciada é induzida a diferenciar-se em células osteogénicas. A investigação moderna sobre a osteoindução foi impulsionada pelos trabalhos de Urist, que identificou um potente indutor no osso desmineralizado, denominado BMPs (Urist 1965, citado em Grgurevic et al., 2017). Estas proteínas pertencem à família dos fatores de crescimento TGF- β e as mais estudadas são as BMP-2 e BMP-7. As BMPs são libertadas naturalmente em resposta a traumatismos ou durante a remodelação óssea e, até à data, continuam a ser os únicos indutores reconhecidos da diferenciação óssea. Outros estímulos, nomeadamente mecânicos ou eléctricos, podem também modular indiretamente este processo. A osteoindução é, por

consequente, uma fase essencial da cicatrização óssea, como no caso de uma fratura ou de um implante. Mesmo que os osteoblastos já presentes antes da lesão participem na reparação, a sua contribuição continua a ser limitada. É a própria lesão que desencadeia a libertação de sinais biológicos e a mobilização de células locais, dando início ao processo de reparação. A osteoindução ocorre desde os primeiros momentos após o trauma e, embora os seus efeitos celulares só sejam visíveis a partir da formação do calo ósseo, o seu papel é essencial desde a primeira semana de cicatrização (Albrektsson & Johansson, 2001).

1.1.8 Conceito de osteointegração

1.1.8.1 Definição

A osteointegração é o fenómeno pelo qual um implante se integra diretamente no osso, sem a formação de tecido fibroso intermédio. Este conceito foi descoberto na década de 1950 por Per-Ingvar Brånemark, durante as suas experiências sobre a microcirculação óssea em coelhos. Descobriu que o titânio podia fundir-se permanentemente com o osso, ao ponto de já não poder ser separado sem provocar uma fratura. Introduziu o termo "osteointegração" para descrever esta fixação estável e duradoura. Inicialmente reservado aos implantes de titânio, o termo é atualmente aplicado a qualquer biomaterial capaz de se integrar no osso (Guglielmotti et al., 2019).

1.1.8.2 Fases da osteointegração

Quando um implante é colocado, a broca perfura o osso, provocando uma hemorragia. O local enche-se de sangue e o implante de titânio é estabilizado mecanicamente, esta é a estabilidade primária. A estabilidade secundária é conseguida através da osteointegração, um processo de cicatrização complexo que envolve vários tipos de células. Este processo desenrola-se em quatro fases principais (**Fig. 4**) (Abd Wahab et al., 2022).

Fase 1: Hemóstase (imediate)

Um coágulo de sangue forma-se rapidamente após a cirurgia. As plaquetas são ativadas, param a hemorragia e libertam fatores de crescimento que iniciam a cicatrização.

Fase 2: Inflamação (horas após a cirurgia)

As células imunitárias limpam a ferida de detritos e bactérias. Os macrófagos assumem o controlo e libertam sinais que desencadeiam a fase seguinte da reparação.

Fase 3: Proliferação (dias após a cirurgia)

Os fibroblastos e os osteoblastos reconstróem o tecido. Os vasos sanguíneos voltam a formar-se (angiogénese). O osso imaturo (osso entrelaçado) começa a formar-se sobre o implante, melhorando a sua estabilidade.

Fase 4: Remodelação (semanas após a cirurgia)

O osso tecido é substituído por osso lamelar sólido e bem estruturado que se adapta às forças exercidas sobre o implante. A estabilidade do osso torna-se duradoura, melhorando a sua estabilidade.

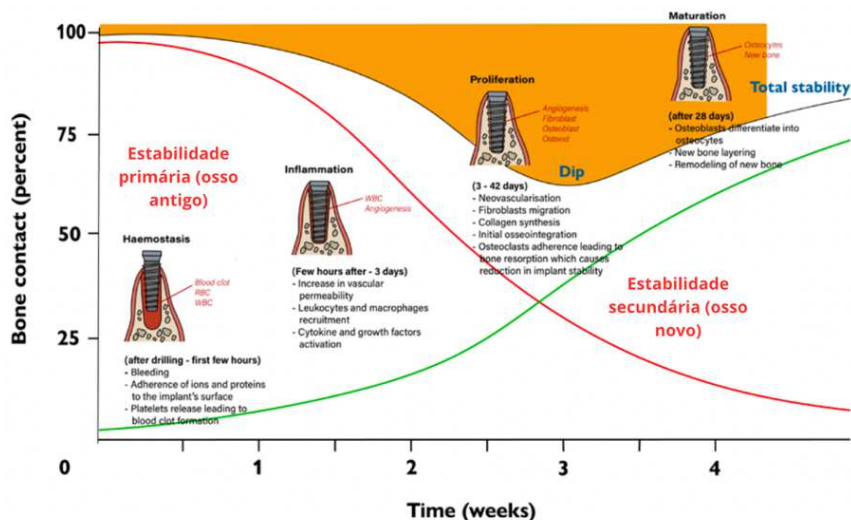


Figura 4. Fases da osseointegração e alterações na estabilidade do implante. Adaptada de (Abd Wahab et al., 2022)

1.1.8.3 Fatores que influenciam o sucesso dos implantes osteointegrados

O sucesso dos implantes osteointegrados depende de uma série de factores interdependentes que afectam a qualidade da integração entre o osso e o implante, bem como a sua estabilidade a longo prazo. Os principais factores são (Parithimarkalaignan & Padmanabhan, 2013):

- Interface osso-implante: a força da osteointegração depende do contacto directo entre o osso e a superfície do implante, sem tecido fibroso, e é influenciada pela quantidade de osso em contacto, pelo tempo de cicatrização e pela estimulação mecânica adequada.

- Biocompatibilidade dos implantes: o titânio puro, principal material utilizado nos implantes, é reconhecido pela sua biocompatibilidade, resistência à corrosão e ausência de toxicidade celular, enquanto a liga titânio-alumínio-vanádio oferece igualmente uma boa tolerância biológica.
- Revestimentos de superfície: trata-se de camadas aplicadas ao implante, como o óxido de titânio ou a hidroxiapatite, para favorecer a adesão óssea, acelerar a formação óssea e melhorar a fixação do implante.
- Caraterísticas da superfície: uma superfície de implante rugosa e bem estruturada promove a fixação e a estabilidade das células ósseas.
- Qualidade do leito do implante: a saúde do osso recetor é essencial para o sucesso do implante, e factores como a radiação, a osteoporose, o tabagismo ou um volume ósseo insuficiente podem comprometer a osteointegração, mas podem ser compensados por enxerto ósseo ou regeneração guiada.
- Técnica cirúrgica: a cirurgia atraumática é crucial, uma vez que o calor excessivo ($>47^{\circ}\text{C}$) durante a perfuração pode causar necrose óssea, prejudicando a osteointegração.
- Condições de carga: a estabilidade primária (mecânica) é essencial para iniciar a osteointegração, enquanto a estabilidade secundária (biológica) permite a consolidação, uma vez que a carga demasiado precoce pode levar à falha do implante.

2. Reabsorção do osso alveolar

O osso alveolar desempenha um papel essencial na estabilidade dentária, mas sofre naturalmente reabsorção após a extração ou em resposta a vários processos fisiopatológicos. A compreensão deste fenómeno é essencial antes de qualquer abordagem à preservação óssea (Tsuchida & Nakayama, 2023).

2.1 Etiologia

A reabsorção óssea alveolar pode ser fisiológica, como após a extração dentária ou como resultado da senilidade, ou patológica, ocorrendo quando uma combinação de fatores como a doença periodontal, distúrbio metabólico, deficiência nutricional e vitamínica, doença sistêmica ou trauma oclusal (Sobolik, 1960), atuam no equilíbrio osteólise-osteofomação, inclinndo a balança a favor da osteólise (Sikkou et al., 2016).

2.1.1 Origem fisiológica

2.1.1.1 Idade

As alterações da massa óssea são o resultado de um equilíbrio dinâmico entre a formação e a reabsorção óssea, pelos osteoblastos e osteoclastos, respetivamente. Durante o crescimento e o desenvolvimento, a formação óssea predomina sobre a reabsorção. No adulto saudável, este equilíbrio é geralmente mantido, mas tende a deslocar-se com a idade a favor da reabsorção. Sobolik (1960) salienta que esta degradação óssea se acentua nas mulheres durante a menopausa e na pós-menopausa, como o demonstram também os trabalhos de Reifstein que considera mesmo que um certo grau de osteoporose é quase fisiológico após a menopausa, com sinais clínicos observados em cerca de 10% das mulheres com mais de 50 anos (Sobolik, 1960).

2.1.1.2 Processo fisiológico ligado à extração

Após a perda de dentes, a atrofia dos processos alveolares ocorre tanto no plano vertical como no horizontal e leva a uma reabsorção tridimensional progressiva do osso alveolar (Juodzbaly & Kubilius, 2013). É fisiológico, irreversível e cumulativo (Bodic et al., 2004). O termo atrofia é definido como “definhamento; diminuição do tamanho de uma célula, tecido, órgão ou parte”. Esse processo tem início e é contínuo ao longo da vida, devido à falta de estímulos, atrofia por desuso observada no processo alveolar dos maxilares (Juodzbaly & Kubilius, 2013).

A cicatrização alveolar segue três fases-chave (Quisiguiña Salem et al., 2023):

Fase inflamatória: Imediatamente após a extração, a coagulação forma um coágulo estável, que é essencial para uma boa cicatrização. Em 2 a 3 dias, as células inflamatórias limpam o alvéolo, que é então substituído por tecido de granulação.

Fase proliferativa: Aparece uma matriz provisória rica em vasos e células osteoprogenitoras, seguida da formação de osso imaturo (osteões primários) a partir do 14º dia. Cerca de 5 semanas após a extração, 2/3 do alvéolo está preenchido.

Remodelação óssea: Esta ocorre ao longo de vários meses e começa com a reabsorção da lâmina dura, que é particularmente acentuada no lado vestibular. A perda óssea progride em seguida em direção à superfície externa. O tecido ósseo inicial é progressivamente substituído por osso lamelar e medula óssea, um processo ativo que pode durar até 4 anos.

Na sua revisão destacam as alterações dimensionais do rebordo alveolar pós-extração. Estimam que, 12 meses após a extração, a largura do osso bucolingual pode diminuir em 50% com uma redução na altura do osso também. Estes mesmos resultados foram relatados por Schropp e Coll em 2003 (citado por Sikkou et al., 2016). Além disso, dois terços da perda óssea total ocorrem nos primeiros três meses. Foi relatada uma perda média de 3,8 mm em largura e 1,24 mm em altura do osso alveolar nos primeiros seis meses após a extração. A tábua vestibular reabsorve mais rapidamente, resultando numa inclinação lingual da crista óssea. A espessura da tábua vestibular influencia a taxa de reabsorção, dada a estrutura (osso fasciculado) da parede vestibular e a sua espessura. Quando a sua espessura é menor ou igual a 1 mm, espera-se uma perda óssea média de 7,5 mm oito semanas após a extração. Por outro lado, se a espessura da tábua vestibular for maior que 1 mm, espera-se uma perda óssea de 1,1 mm (Quisiguiña Salem et al., 2023).

É ainda de salientar que a mandíbula, sendo uma estrutura óssea de forma e densidade variáveis de indivíduo para indivíduo, não reage da mesma forma aos factores de reabsorção. De acordo com Bodic et al (2004), após a extração de um dente, o osso alveolar sofre um processo de reabsorção, medido em diferentes momentos através de imagens radiológicas:

- Após 3 meses, a reabsorção atinge uma média de 21% do alvéolo.
- Após 6 meses, a reabsorção é de 36 %.
- Após 12 meses, até 44% do osso alveolar foi perdido.

A reabsorção do rebordo alveolar é causada principalmente por atrofia devido ao desuso, falta de vascularização e processos inflamatórios (Kalsi et al., 2019).

Além disso, de acordo com Ramalingam et al. (2020), aproximadamente 35% das cavidades de extração espontaneamente cicatrizadas não são suficientemente vitais para suportar implantes dentários devido à presença de lacunas vazias, à diminuição da atividade osteoblástica e ao aumento do número de osteoclastos e células inflamatórias.

2.1.2 Origem patológica

Um processo patológico não gerido leva à osteólise e à perda de dentes irreversível (Bodic et al., 2004).

2.1.2.1 Doença periodontal

Além da reabsorção óssea fisiológica após a extração dentária, a perda óssea alveolar também ocorre em associação com a periodontite (Ramalingam et al., 2020). De facto, a doença periodontal pode manifestar-se como uma reabsorção significativa do osso alveolar, acompanhada pela perda de fixação das fibras desmodontais. É causada pela presença de placa dentária ou biofilme dentário que adere ao limite entre os dentes e as gengivas. É uma doença de início silencioso que pode progredir lentamente. É acompanhada por uma redução do diâmetro ósseo com exposição das raízes dentárias (Bodic et al., 2004). A sua prevalência permanece elevada em todo o mundo e é a principal causa de perda de dentes devido à destruição destes tecidos de suporte (Tsuchida & Nakayama, 2023).

2.1.2.2 Origem alimentar

Os nutrientes desempenham um papel essencial na saúde dos ossos. As proteínas ajudam a construir os tecidos e fornecem energia. O cálcio, o fósforo e o magnésio asseguram a rigidez e a dureza dos ossos. Um desequilíbrio de cálcio e fósforo no sangue pode contribuir para a reabsorção do osso alveolar. Além disso, as deficiências de vitamina C e D promovem a descalcificação óssea e a atrofia alveolar, respetivamente, bem como a desregulação do metabolismo fosfocálcico (Sobolik, 1960).

2.1.2.3 Osteoporose

A osteoporose também contribui para a perda qualitativa e quantitativa acelerada do osso alveolar. Trata-se de uma doença sistêmica que afecta todo o sistema ósseo do organismo. Caracteriza-se por uma redução da densidade e da massa óssea, tornando os ossos mais frágeis e mais susceptíveis de fraturar. Particularmente no contexto do osso alveolar, a osteoporose resulta na perda desta massa óssea a um ritmo mais rápido do que a capacidade do organismo de substituí-la ou regenerá-la. Os pacientes com osteoporose não tratada também apresentam atraso na cicatrização após a extração, falha na osseointegração dos implantes dentários (Ramalingam et al., 2020).

2.1.2.4 Diabetes mellitus

Condição sistêmica que tem repercussões nos tecidos periodontais. Se não for controlada, não só impede a formação de novo osso alveolar, como também dificulta a remodelação óssea e a cicatrização após a colocação de implantes, prejudicando a osteointegração. Esta doença provoca um estado geral de inflamação, acentuado pelo aumento de citocinas pró-inflamatórias no fluido crevicular gengival, que afecta directamente os tecidos periodontais e aumenta a frequência da periodontite e a degradação dos tecidos. A hiperglicemia crónica está também associada a uma redução da espessura do osso alveolar, principalmente devido à inibição da proliferação de osteoblastos e da síntese de colagénio. O controlo glicémico regular é, portanto, essencial para melhorar significativamente a cicatrização óssea e promover a osteointegração dos implantes (Ramalingam et al., 2020).

2.2 Classificação do osso alveolar

Ao planear enxertos ósseos para a reabilitação com implantes, é essencial que o profissional tenha um conhecimento preciso da evolução anatómica dos maxilares após a perda de dentes (Cawood & Howell, 1988). A sobrevivência dos implantes dentários depende da qualidade e da quantidade de osso presente nos maxilares (Wang et al., 2023).

Vários autores propuseram classificações das cristas edêntulas, com o objetivo de descrever a sua qualidade (densidade, composição) ou a quantidade de osso residual disponível (altura e largura) (Sikkou et al., 2016).

2.2.1 Classificação da qualidade óssea

A taxa de sucesso da cirurgia de implantes é essencialmente influenciada pela qualidade dos maxilares. Isto porque contribui para uma melhor estabilidade inicial, que por sua vez promove uma melhor osteointegração durante a fase de cicatrização, conduzindo a um implante mais estável. Vários investigadores propuseram diferentes métodos de classificação para avaliar a qualidade dos ossos.

2.2.1.1 Impacto da qualidade do osso no sucesso do implante

Num estudo retrospectivo realizado por Jaffin & Berman (1991), foi avaliada a taxa de sucesso de 1.054 implantes colocados em 246 maxilares durante um período de 5 anos, em relação à qualidade óssea de acordo com a classificação de Branemark formalizada por Lekholm & Zarb (1985) (**Fig.5**). O objetivo deste estudo era determinar o impacto do osso tipo IV nas taxas de insucesso dos implantes. Os seus resultados mostraram uma correlação direta entre a qualidade do osso e a taxa de sucesso. Os implantes colocados em osso dos tipos I a III tiveram uma taxa de insucesso global de 3%. Os implantes colocados em osso tipo IV, com osso cortical muito fino e osso trabecular de baixa densidade e baixa resistência, apresentaram uma taxa de insucesso alarmante de 35%, predominando o insucesso no momento da segunda cirurgia ou pouco depois da função protética.

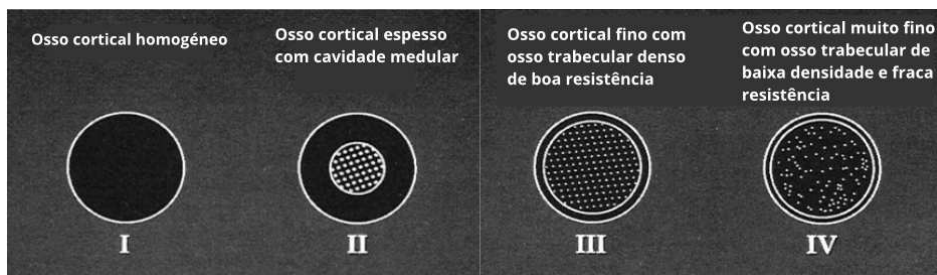


Figura 5. Anatomia dos ossos maxilares, descrevendo os 4 tipos de ossos. Adaptada de (Jaffin & Berman, 1991).

A espessura do osso cortical na zona edêntula é outro fator importante que influencia a estabilidade inicial de futuros implantes, para além da densidade do osso esponjoso. No estudo clínico prospetivo de Miyamoto et al (2005), o objetivo foi avaliar a influência da espessura do osso cortical e do comprimento do implante na estabilidade primária dos implantes dentários no momento da colocação. Para tal, os autores combinaram medições

anatômicas pré-operatórias utilizando tomografia computadorizada (TC) com análise de frequência de ressonância imediatamente após a colocação do implante. A espessura do osso cortical no local de inserção foi medida através de tomografia computadorizada, enquanto a estabilidade dos implantes foi avaliada utilizando um dispositivo que fornece um índice de estabilidade. Os resultados mostraram uma correlação positiva entre a espessura do osso cortical e a estabilidade primária. O osso cortical era significativamente mais espesso na mandíbula do que no maxilar, o que também corresponde a uma maior estabilidade do implante nesta região. Em contraste, o comprimento do implante mostrou uma correlação negativa com a estabilidade, sugerindo que o alongamento de um implante não melhora necessariamente a sua estabilidade inicial.

2.2.1.2 Classificação de Lekholm & Zarb (1985)

O método de classificação da qualidade do osso alveolar mais aceite e utilizado atualmente é o de Lekholm & Zarb (1985). Ele divide o osso em quatro tipos (**Fig.6**), de acordo com a densidade do osso cortical e trabecular (Widiasri et al., 2023), com base na análise de radiografias convencionais e nas características histológicas do osso (Ramalingam et al., 2020). O tipo 1 corresponde a um osso composto inteiramente por tecido cortical, oferecendo densidade máxima. O tipo 2 é definido por uma camada cortical espessa que envolve um núcleo ósseo trabecular denso. O tipo 3 tem uma camada fina de osso cortical, mas o tecido trabecular subjacente permanece denso. Finalmente, o tipo 4 é caracterizado por uma fina camada de osso cortical associada a um tecido trabecular central de baixa densidade (Widiasri et al., 2023).

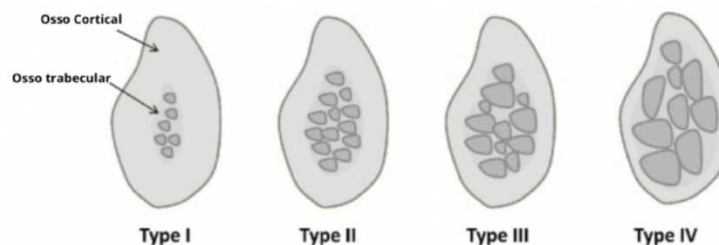


Figura 6. Classificação da qualidade óssea de Lekholm & Zarb. Adaptada de (Alghamdi, 2018)

No entanto, a utilização deste método leva o observador a fazer uma classificação subjectiva dos ossos. Isto significa que diferentes observadores podem chegar a conclusões diferentes, o que pode influenciar os resultados experimentais.

Para ultrapassar esta subjetividade, vários investigadores procuraram melhorar e alargar o modelo de classificação proposto por Lekholm & Zarb, nomeadamente para quantificar com maior precisão a densidade óssea de cada tipo de osso. Um estudo fundamental neste domínio foi realizado por Norton & Gamble em 2001, que utilizaram a TC para medir a densidade óssea na mandíbula. Embora as tecnologias de TC e tomografia computadorizada de feixe conico (CBCT) tenham sido utilizadas para quantificar a densidade óssea nas abordagens mencionadas, a espessura do osso cortical não foi considerada simultaneamente. Para além disso, este método de classificação baseia-se no pressuposto de que a espessura do osso cortical e a densidade do osso esponjoso estão positivamente correlacionadas (Wadhvani et al., 2021).

2.2.1.3 Classificação de Misch (1999)

Misch propôs uma classificação macroscópica da densidade óssea em quatro tipos que vão de D1 a D4 (**Fig. 7**), de acordo com uma gradação de osso muito denso a osso muito esponjoso. Esta classificação baseia-se em três critérios principais: a sensação tátil durante a perfuração, a localização anatómica e os dados radiográficos, nomeadamente a CBCT ou a TC.

A distribuição dos tipos de osso varia consoante a região da cavidade oral. D1 corresponde a um osso muito denso e corticalizado. É raro (<10% dos casos) e encontra-se em 6% dos casos na região anterior da mandíbula e 3% na região posterior. D2, definido como osso esponjoso denso, é o tipo mais frequentemente observado na mandíbula. Está presente em aproximadamente 66% dos casos na região anterior e 50% na região posterior. O D3 é um osso esponjoso predominante na maxila. Encontra-se em cerca de 75% dos casos na região anterior da maxila e em 50% dos casos na região posterior, particularmente nas áreas pré-molares. O D4, um osso muito esponjoso, é encontrado principalmente na região posterior do maxilar, representando cerca de 40% dos casos. É frequentemente observado após transplante de seio maxilar. Os exames radiográficos convencionais, como as vistas panorâmicas ou retro alveolares, não são fiáveis para estimar a densidade óssea, devido à sua natureza bidimensional. A TC

permite uma avaliação mais precisa através da medição das unidades Hounsfield (UH), que estão diretamente correlacionadas com a densidade óssea, D1: >1250 UH, D2: 850 a 1250 UH, D3: 350 a 850 UH, D4: 150 a 350 UH. Embora a CBCT tenha as suas limitações em termos de exatidão, fornece, no entanto, uma estimativa útil da densidade óssea na zona do implante (Wadhvani et al., 2021).

A densidade óssea também pode ser apreciada tatilmente durante a preparação do local do implante, correspondendo a cada tipo de osso uma sensação distinta (Tab.1)

Tabela 1. Sistema de classificação da densidade óssea de Misch. Adaptada de (Wadhvani et al. 2021)

| Bone Density | Description | Tactile Analog | Typical Anatomic Location |
|--------------|---------------------------------------|---------------------------|---|
| D1 | Dense cortical | Oak or maple wood | Anterior mandible |
| D2 | Porous cortical and coarse trabecular | White pine or spruce wood | Anterior mandible Posterior mandible Anterior maxilla |
| D3 | Porous cortical and fine trabecular | Balsa wood | Anterior maxilla Posterior maxilla Posterior mandible |
| D4 | Fine trabecular | Styrofoam | Posterior maxilla Anterior maxilla |

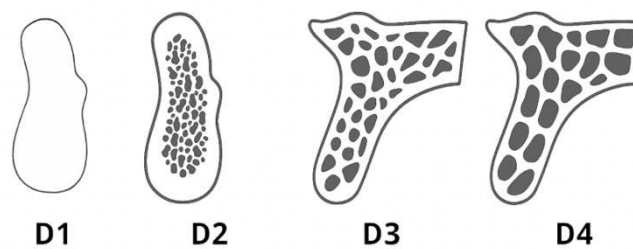


Figura 7. Diagrama dos diferentes tipos de ossos de acordo com Misch. Esquema adaptada de (Wadhvani et al., 2021)

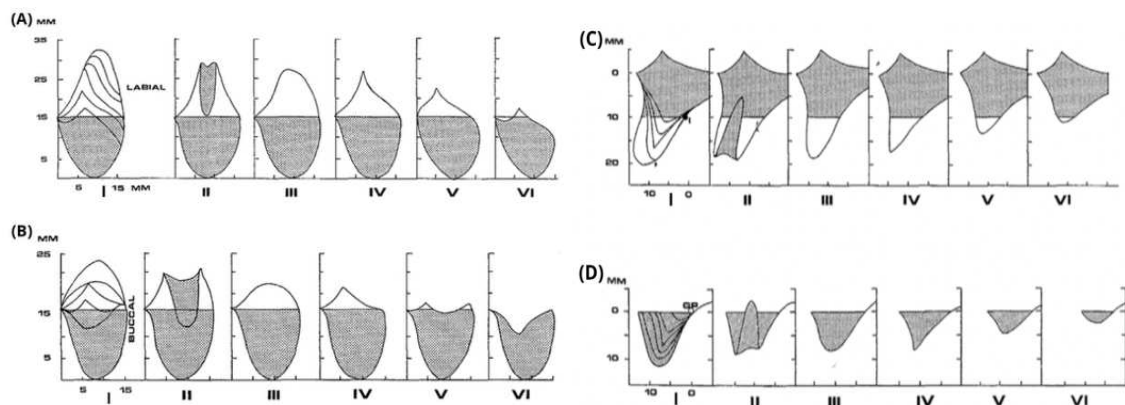
2.2.2 Classificação da quantidade de osso

2.2.2.1 Classificação de Cawood & Howell (1988)

O estudo de 300 crânios edêntulos realizado por Cawood e Howell (1988) consistiu na realização de medições lineares na mandíbula e na maxila, com o objetivo de analisar as alterações ósseas após a extração dentária.

Os seus resultados mostram que o osso alveolar perde gradualmente altura e largura à medida que a reabsorção progride, enquanto o osso basilar permanece globalmente estável. Nesta base, propuseram uma classificação em seis fases (de I a VI) para descrever simplesmente a morfologia residual dos rebordos edêntulos e orientar as decisões de tratamento (Fig.8).

- Classe I: dentado
- Classe II: pós-extração
- Classe III: crista arredondada, altura e largura suficientes.
- Classe IV: crista em ponta de faca, altura suficiente, largura insuficiente
- Classe V: crista plana, altura e largura insuficientes.
- Classe VI: crista côncava (com perda de osso basal)



Figuras 8. (A) Classificação da mandíbula anterior (anterior ao forame mental). (B) Classificação da mandíbula posterior (posterior ao forame mental). (C) Classificação da maxila anterior. (D) Classificação da maxila posterior. Diagramas adaptadas de (Cawood & Howeel, 1988).

Esta classificação também se baseia na análise da direção da reabsorção. A forma como o osso é reabsorvido não é uniforme, mas depende da região anatômica. Na maxila, a reabsorção segue um movimento centrípeto, deslocando-se para o centro do palato, enquanto na mandíbula é mais centrífuga, deslocando-se para o exterior da arcada. Essa diferença na direção da reabsorção influencia diretamente a morfologia da crista, um aspecto importante a ser considerado na compreensão das variações entre os estágios. Além disso, é notável observar uma exceção na região dos incisivos inferiores, onde a reabsorção permanece centrípeta (Sikkou et al., 2016).

Embora a classificação de Cawood e Howell forneça uma descrição morfológica essencial das cristas edêntulas, o desenvolvimento de ferramentas de diagnóstico modernas, em particular a CBCT, tornou possível desenvolver abordagens quantitativas mais refinadas da qualidade óssea.

A nova classificação proposta por Wang et al (2023), baseada na análise de imagens de CBCT, permite a medição separada da espessura do osso cortical e da densidade do osso esponjoso, proporcionando assim uma avaliação objetiva e abrangente da arquitetura óssea no local do implante.

2.2.2.2 Nova classificação baseada em imagens de CBCT

Numa tentativa de ultrapassar as limitações das classificações tradicionais, que são frequentemente qualitativas e subjectivas, Wang et al (2023) propuseram um novo método de classificação da qualidade e quantidade óssea em locais de implantes, com base na análise de imagens de CBCT. Esta abordagem baseia-se na avaliação separada da espessura do osso cortical e da densidade do osso esponjoso, utilizando medições quantitativas precisas.

Durante muito tempo, partiu-se do princípio de que o osso cortical espesso era necessariamente acompanhado por osso esponjoso denso, o que indicava uma boa qualidade óssea. No entanto, estudos recentes, incluindo o de Wang et al (2023), mostraram que a espessura do osso cortical e a densidade do osso esponjoso variam independentemente em diferentes regiões da mandíbula e que há pouca correlação direta entre estes dois parâmetros. Este facto sublinha a importância da avaliação separada destes dois elementos para melhor caracterizar a qualidade óssea.

No seu estudo, Wang et al (2023) analisaram 315 locais de implantes utilizando a CBCT. A espessura do osso cortical foi medida em milímetros, enquanto a densidade do osso esponjoso foi determinada a partir dos valores da escala de cinzentos da CBCT, que foram depois convertidos em densidade mineral óssea (g/cm^3).

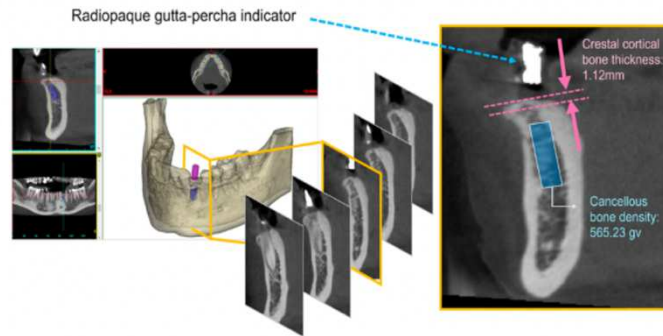


Figura 9. Medição da densidade do osso esponjoso e da espessura do osso cortical no local do implante dentário. Imagem adaptada de (Wang et al., 2023).

A classificação que propõem baseia-se na combinação de dois critérios. O osso cortical é classificado em três categorias: tipo A para uma espessura superior a 1,1 mm, tipo B para uma espessura entre 0,7 mm e 1,1 mm e tipo C para uma espessura inferior a 0,7 mm. Do mesmo modo, a densidade da esponja divide-se em três classes: o tipo 1 corresponde a uma densidade superior a 600 GV (= 420 g/cm³), o tipo 2 a uma densidade entre 300 e 600 GV (=160-420 g/cm³) e o tipo 3 a uma densidade inferior a 300 GV (=160 g/cm³). Finalmente, a combinação destes dois parâmetros gera nove tipos de ossos distintos: A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2 e C3.

Entre estes tipos, o B2 corresponde a uma espessura cortical intermédia e a uma densidade esponjosa intermédia. É o mais frequentemente observado, representando 20,63% dos casos. Os tipos A2 e B1 também estão bem representados, com 13,02% e 17,78%, respetivamente.

O tipo A1 é considerado ótimo em termos de qualidade óssea, com osso cortical espesso e osso esponjoso denso, e representa 8,57% dos casos. Os tipos A3, com osso cortical espesso e baixa densidade esponjosa, e C1, com osso cortical fino mas osso esponjoso denso, ocorrem mais raramente, com frequências de 4,13% e 4,44%, respetivamente. Os tipos C2 e C3, correspondentes à má qualidade óssea, representam 14,29% e 8,57%, respetivamente.

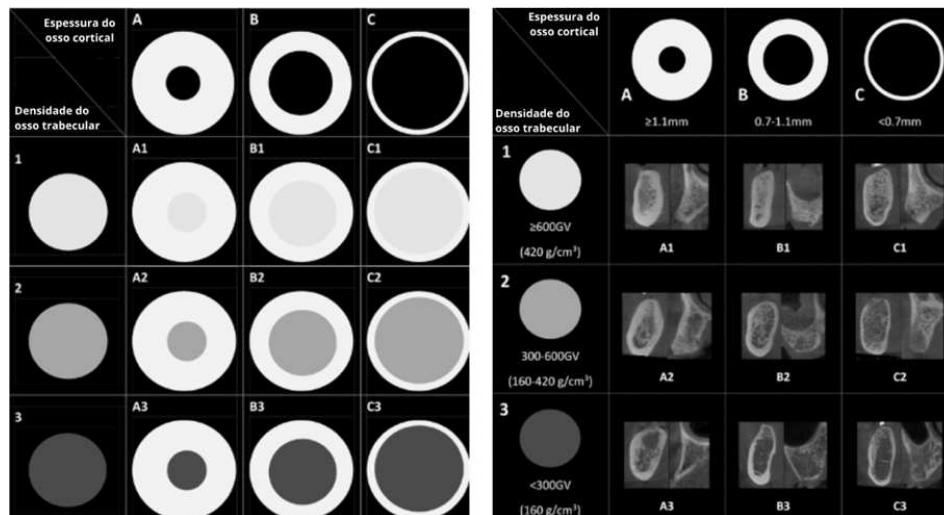


Figura 10. (Esquerda) Diagrama esquemático da nova classificação óssea; três espessuras diferentes (A, B, C) e três densidades diferentes de osso esponjoso (1, 2, 3) (Direita). Adaptada de (Wang et al., 2023)

A análise regional revela que a mandíbula anterior é predominantemente dos tipos A1 e B1, reflectindo uma elevada qualidade óssea. A mandíbula posterior apresenta os tipos A1 e A2.

A maxila anterior está associada aos tipos B2 e C2. A maxila posterior está mais frequentemente associada aos tipos C2 e C3, indicando uma menor qualidade óssea (Wang et al., 2023).

Tabela 2. Outras classificações de perda óssea alveolar relatadas na literatura (Allen et al., 1985; Yang & Wessel, 2017; Farith N et al., 2024).

| Autor, data | CrITÉRIOS | Classificação |
|---------------------------|--|--|
| Seibert (1983) | Avaliação do volume ósseo horizontal/vertical | <p>Classe 1: Perda óssea que afecta os aspectos vestibulares e linguais da área edêntula do rebordo.</p> <p>Classe 2: Perda óssea que afecta os aspectos oclusais e cervicais da área edêntula da crista.</p> <p>Classe 3: Combinação de perda óssea de Classe 1 e Classe 2, representando o cenário mais complexo.</p> |
| Allen (1985) | Avaliação da profundidade do defeito em relação à crista adjacente | <p>Ligeiro: Perda óssea < de 3 mm</p> <p>Moderado: Perda óssea entre 3 e 6 mm</p> <p>Severa: Perda óssea > 6 mm</p> |
| Wang & Al-Shammari (2002) | Avaliação da direcção e da gravidade | <p>Defeitos alveolares classificados como horizontais (H), verticais (V) ou combinados (C), com subdivisões de acordo com o tamanho do defeito:</p> <p>S: pequeno (<3 mm); M: médio (4-6 mm); L: grande (>7 mm)</p> |

3. Enxertos ósseos autógenos

3.1 Evolução histórica do enxerto ósseo e sua aplicação na implantologia dentária

O conceito de enxerto ósseo não é novo. Há milhares de anos que os cirurgiões reconstrutivos se sentem fascinados pelos defeitos ósseos (Sparks et al., 2017).

Jacob Janszoon van Meekeren relatou a primeira descrição médica documentada de um enxerto ósseo, quando em 1668 descreveu um xenoenxerto bem sucedido utilizando um osso de calvária de cão para reconstruir o crânio de um soldado (Karbalaieikhani et al., 2021 ; Schmidt, 2021).

Em 1863, o cirurgião William MacEwen efectuou o primeiro aloenxerto ósseo humano documentado, que realizou num jovem rapaz. Na década de 1920, o enxerto ósseo era uma prática bem estabelecida (Schmidt, 2021).

No século XIX, foram efetuadas numerosas experiências com enxertos ósseos não vascularizados, tanto autólogos como alogénicos. Só nessa altura é que se compreendeu plenamente que a vascularização desempenhava um papel essencial na prevenção da reabsorção óssea e na promoção da sua consolidação. Este facto constituiu um grande avanço: cirurgiões, biólogos e imunologistas compreenderam que, para preservar a integridade estrutural do osso, este tinha de ser irrigado por um suprimento sanguíneo e provir de uma fonte autóloga (Spark et al., 2018).

Em 1919, Albee relatou o sucesso de 1600 operações de enxerto ósseo. Foi também nesta altura que se desenvolveram técnicas cirúrgicas importantes, como o enxerto cortico-esponjoso de Plemister, que ainda hoje são utilizadas (Schmidt, 2021).

Inicialmente aplicados à reconstrução óssea em geral, esses avanços começaram progressivamente a ser explorados na medicina dentária, especialmente na implantologia.

Com o desenvolvimento da implantologia moderna na segunda metade do século XX^e, a necessidade de um volume ósseo suficiente para garantir a estabilidade dos implantes dentários tornou-se uma questão central. No entanto, em muitos pacientes, a reabsorção

óssea após a extração dentária compromete a possibilidade de colocação de um implante sem reconstrução prévia (Guillaume, 2016). Foi neste contexto que Brånemark et al. (1975) discutiram originalmente a utilização de osso autógeno com implantes dentários (Misch, 2015) permitindo aumentar o volume ósseo e garantir a durabilidade dos implantes (Guillaume, 2016).

Atualmente, apesar dos progressos dos substitutos ósseos artificiais, os enxertos ósseos biológicos continuam a ser a referência, com mais de 2 milhões de operações realizadas por ano em todo o mundo (Schmidt, 2021).

3.2 Enxertos e substitutos ósseos

3.2.1 Definições

Os enxertos ósseos são um procedimento cirúrgico que consiste na remoção de um fragmento de osso de uma área do próprio corpo, de outro ser humano ou de um animal, com o objetivo de preencher um defeito ou estimular a regeneração óssea em outra região do corpo. Eles são utilizados quando a reparação óssea natural é inadequada, para restaurar a continuidade e a força do esqueleto (Amini et al., 2013), isoladamente ou em combinação com outros materiais (Ciszyński et al., 2023).

Os dois procedimentos cirúrgicos, ou seja, a remoção e a colocação do enxerto, são efetuadas durante a mesma sessão cirúrgica (Seban et al., 2011). A zona danificada do osso que vai receber o enxerto chama-se “zona recetora”, ao contrário da zona de onde o enxerto é retirado, que se chama “zona dadora” (Skondas et al., 2016).

Na cirurgia pré-implantar, o aumento ósseo da maxila ou da mandíbula tem dois objetivos principais: restaurar o contorno e o volume ósseos adequados (Seban et al., 2011), proporcionar um suporte mecânico ótimo para facilitar a colocação do implante em condições favoráveis à osteointegração, preservando o osso alveolar residual no alvéolo (Bali et al., 2021).

Os substitutos ósseos, por outro lado, são materiais naturais ou sintéticos concebidos para substituir ou complementar o tecido ósseo quando os enxertos tradicionais não são viáveis ou suficientes. Geralmente, são constituídos por uma matriz óssea mineralizada

desprovida de células vivas, mas capaz de desempenhar a mesma função. Devem ser biocompatíveis, permitir a integração com o osso circundante e, em alguns casos, ser progressivamente reabsorvidos para serem substituídos por osso neoformado. Estes substitutos incluem cerâmicas, polímeros bioativos e biomateriais compósitos, oferecendo alternativas inovadoras para a reconstrução óssea. São uma alternativa ao autoenxerto ósseo (Zhao et al., 2021).

3.3 Características ideais de um material de regeneração

Um material de enxerto ósseo ideal deve refletir todas as propriedades fisiológicas do osso autógeno: deve ser biocompatível, reabsorvível, osteocondutor ou seja, a capacidade do material de atuar como *scaffold* para o crescimento das células ósseas, permitindo que os tecidos circundantes cresçam sobre o enxerto e formem osso, osteoindutor, para recrutar e induzir a diferenciação de células mesenquimatosas em osteoblastos maduros, responsáveis pela formação óssea e osteogênico, ou seja incorporar células progenitoras osteogênicas na sua estrutura, capazes de formar uma nova matriz óssea (Janicki & Schmidmaier, 2011; Haugen et al., 2019 ; Schmidt, 2021).

Além disso deve também ser fácil de utilizar, seguro e económico (Schmidt, 2021).

Muitas outras propriedades influenciam o sucesso de um enxerto ósseo. Estas incluem, mas não se limitam a, esterilidade, integridade estrutural, plasticidade e resistência à compressão (Zhao et al., 2021).

A combinação destes factores é essencial para garantir uma boa integração do enxerto, uma tolerância a longo prazo por parte dos tecidos hospedeiros e processos de regeneração óssea bem sucedidos (Zhao et al., 2021).

Além disso, para garantir a eficácia do processo de regeneração óssea, o material deve ser capaz de se integrar diretamente à superfície óssea, sem a formação de uma camada de tecido fibroso, o que assegura uma boa osseointegração (Zhao et al., 2021).

No caso dos substitutos ósseos, é essencial que o material tenha uma estrutura próxima do osso, nomeadamente em termos de porosidade e de propriedades mecânicas (Schmidt, 2021).

A investigação demonstrou que a maioria dos materiais de enxerto e substitutos ósseos actuais servem principalmente como suportes estruturais para a regeneração óssea, cumprindo assim principalmente a função osteocondutora das características ideais acima mencionadas. No entanto, continuam a existir desafios no que diz respeito às respostas imunitárias relacionadas com o enxerto, particularmente para materiais que não são derivados de osso autógeno. Esta questão representa uma área chave para a melhoria no desenvolvimento de novos materiais substitutos ósseos no futuro (Zhao et al., 2021).

3.4 Classificação dos materiais de enxerto ósseo

3.4.1 Autoenxertos

Os enxertos ósseos autógenos têm sido utilizados com frequência desde o início do século XX (Younger & Chapman, 1989). É um enxerto de tecido ósseo retirado de um paciente e utilizado para regenerar uma área óssea danificada no seu próprio corpo. É uma técnica comumente adoptada, nomeadamente devido ao seu grande potencial osteogénico. As células osteoindutoras e os factores de crescimento presentes neste tecido estimulam a proliferação dos osteoblastos e favorecem a formação de tecido ósseo. Graças às suas múltiplas propriedades, como a osteogénese, a osteoindução e a osteocondução, o enxerto ósseo autógeno continua a ser o método de eleição entre os vários materiais disponíveis para enxertos e preenchimentos (Tlili et al., 2023).

Um enxerto ósseo autógeno é constituído por vários elementos essenciais: um esqueleto mineralizado, uma matriz orgânica e a medula óssea. O esqueleto mineralizado forma uma estrutura rígida e densa que envolve a matriz orgânica. A matriz orgânica é constituída principalmente por colagénio e proteínas não colagénicas, como as BMPs e outros factores de crescimento. Estas proteínas são cruciais para a regeneração do tecido ósseo. Contém igualmente células especializadas, como os osteoblastos, os osteoclastos e os osteócitos. Para além do seu papel biológico, estes elementos estão envolvidos em fenómenos de histocompatibilidade, ou seja, a compatibilidade do enxerto com o tecido do recetor, essencial para evitar a rejeição do enxerto. A medula óssea, que é

vascularizada, desempenha um papel fundamental na regeneração do tecido ósseo, fornecendo células precursoras e facilitando a cicatrização (Tulasne & Andreani, 2004).

3.4.1.1 Propriedades biológicas e considerações

O osso autógeno tem sido historicamente (Branemark et al., 1975) e continua a ser reconhecido como o *gold standard* para a reconstrução e reparação óssea (Brum et al., 2024). Esta reconhecida eficácia deve-se às suas propriedades excepcionais de osteoindução, osteocondução e osteogênese (Wickramasinghe et al., 2022).

Como mencionado anteriormente, dos vários materiais de aumento disponíveis, apenas o osso autógeno combina essas três características essenciais, ao contrário dos substitutos ósseos e dos materiais compósitos, que apresentam apenas propriedades osteocondutoras (Sakkas et al., 2017). Isso torna o osso autógeno o material mais eficaz nos procedimentos de regeneração óssea.

Além disso, são biomecanicamente estáveis, actuam como estruturas de suporte e permitem que as células invasoras e os vasos sanguíneos adiram e formem novos tecidos. Por último, segregam os factores de crescimento necessários para induzir a maturação das células estaminais indiferenciadas e dos pré-osteoblastos em células maduras formadoras de osso (Janicki & Schmidmaier, 2011).

Embora as características acima mencionadas façam do osso autógeno o material de enxerto de referência é importante sublinhar que a sua integração e a remodelação do osso autógeno são influenciadas por vários factores, incluindo a sua origem embriológica e a sua estrutura arquitetónica (Seban et al., 2011), que parecem desempenhar um papel significativo. Todos os ossos do corpo são compostos, em proporções variáveis, por dois tipos de tecido: o osso cortical e o osso esponjoso (ver 1.1.3). O osso esponjoso é oito vezes mais metabolicamente ativo do que o osso cortical, enquanto este último é quatro vezes mais denso do que o osso esponjoso. Essas diferenças influenciam diretamente a escolha do tipo de osso a ser utilizado nos enxertos autógenos, dependendo das necessidades clínicas específicas. (Tulasne & Andreani, 2004 ; Pape et al., 2010)

3.4.1.1.1 Autoenxerto de osso esponjoso

Os enxertos de osso esponjoso são a fonte de enxerto autógeno mais frequentemente escolhida (Myeroff & Archdeacon, 2011).

Após a implantação, uma parte dos osteócitos do dador sobrevive, e estas células, associadas à porosidade do enxerto e às citocinas locais, favorecem a angiogênese e o recrutamento de células mesenquimatosas do hospedeiro, que têm a capacidade de se diferenciar em osteoblastos. A estrutura trabecular do osso esponjoso cria uma vasta superfície de troca, facilitando assim a integração destas células, sejam elas imaturas ou maduras, conferindo ao enxerto propriedades osteogênicas e osteoindutoras notáveis (Myeroff & Archdeacon, 2011).

Além disso, essa mesma estrutura favorece uma revascularização rápida, o que facilita a integração do enxerto na zona recetora. No entanto, uma das principais limitações do osso esponjoso é a sua baixa resistência mecânica inicial. A formação de novo tecido ósseo sobre uma matriz celular necrótica pode enfraquecer temporariamente o enxerto, particularmente nas primeiras semanas. Contudo, devido ao seu forte potencial biológico e à sua capacidade de induzir a formação de novo tecido ósseo, a estabilidade do enxerto melhora progressivamente à medida que a integração total ocorre. A vascularização dos enxertos de osso esponjoso começa dois dias após a implantação, com a infiltração dos espaços medulares pelas células estaminais mesenquimatosas. Após cerca de 4 semanas, a primeira fase da osteointegração, marcada pela revascularização, é seguida pela fase de remodelação, que envolve a formação ativa de novo tecido ósseo e a reabsorção do tecido necrótico. Histologicamente, os osteoblastos posicionam-se sobre as trabéculas do enxerto e depositam uma camada de osteoide. Esse processo, denominado *creeping substitution*, é caracterizado pela deposição de osteoide pelos osteoblastos e pela reabsorção do tecido necrótico pelos osteoclastos, o que contribui para a incorporação progressiva do enxerto. O remodelação final do enxerto ocorre ao longo de vários meses, embora o material de enxerto ofereça uma rápida incorporação, sem garantir estabilidade estrutural imediata. (Pape et al., 2010 ; Myeroff & Archdeacon, 2011).

3.4.1.1.2 Autoenxerto de osso cortical

Os enxertos de osso cortical apresentam um potencial biológico mais limitado do que os enxertos esponjosos devido à sua elevada densidade, o que restringe a presença de osteoblastos e osteócitos, bem como a disponibilidade de fatores de crescimento (Pape et al., 2010). Consequentemente, apresentam uma capacidade osteoindutora e osteogénica reduzida (Myeroff & Archdeacon, 2011).

Além disso, a baixa área de superfície por unidade de peso do osso cortical dificulta a infiltração vascular e a remodelação óssea, devido à sua estrutura compacta. Esta limitação impede a penetração eficaz dos vasos sanguíneos no enxerto, retardando a atividade osteoclástica e a reabsorção óssea. O desenvolvimento dos capilares depende dos canais de Havers ou de Volkman, e da atividade osteoclástica envolvida na remodelação do tecido ósseo mineralizado (Tulasne & Andreani, 2004).

Embora o osso cortical tenha essas limitações biológicas, a sua elevada estabilidade mecânica e resistência fazem dele uma excelente opção para defeitos estruturais que requerem estabilidade imediata para promover a consolidação. Ao contrário dos enxertos esponjosos, que são mais adaptáveis para promover a revascularização, o osso cortical oferece um suporte sólido para as estruturas de fixação óssea, garantindo a resistência necessária para a reabilitação eficiente (Myeroff & Archdeacon, 2011).

A reabsorção do osso cortical denso começa logo após duas semanas do enxerto, com uma perda óssea progressiva. Durante o processo de integração, a perda de volume dos enxertos corticais usados para aumento onlay geralmente fica abaixo de 20% (Misch, 2015). Esse processo pode reduzir a resistência mecânica do enxerto em até 75% (Pape et al., 2010). As diferenças entre os enxertos corticais e esponjosos se tornam evidentes durante a revascularização e a remodelação. No osso cortical, a revascularização é mais lenta devido à densidade do enxerto, o que reduz a superfície de contato para a infiltração vascular. Esse processo pode levar cerca de dois meses, enquanto nos enxertos esponjosos, a incorporação começa com a formação de novo tecido ósseo. Nos enxertos corticais, a reabsorção inicial pelos osteoclastos é necessária para permitir a revascularização. Estudos em cães mostraram que a resistência dos enxertos corticais diminui significativamente nas primeiras seis semanas, permanece baixa até as 24 semanas, e atinge a resistência normal cerca de 48 semanas após o transplante (Myeroff & Archdeacon, 2011).

O tipo de osso enxertado é crucial para o sucesso da reconstrução. O osso esponjoso é preferido para preencher cavidades osteíticas após a limpeza, enquanto o osso cortical é ideal para restaurar relevos ósseos (Tulasne & Andreani, 2004).

3.4.1.1.3 Autoenxerto de osso cortico-esponjoso

Os enxertos corticoesponjosos combinam as vantagens do osso cortical e do osso esponjoso: oferecem um suporte osteocondutor e uma estabilidade estrutural imediata graças ao osso cortical, beneficiando ao mesmo tempo das capacidades osteoindutoras e osteogénicas do osso esponjoso. O local de colheita mais utilizado é a crista ilíaca, onde podem ser obtidos enxertos unicorticais, bicorticais e tricorticais (Myeroff & Archdeacon, 2011).

3.4.1.1.4 Autoenxerto de osso vascularizado

Para promover uma melhor integração e uma cicatrização mais rápida, os enxertos corticais e corticoesponjosos podem ser colhidos com um pedículo vascular, assegurando um fornecimento direto de sangue. Este tipo de enxerto é geralmente colhido em zona específica, como a crista ilíaca irrigada por artéria importante, como a artéria ilíaca circunflexa profunda. Foi sugerido que, se for assegurada uma anastomose vascular adequada e a estabilidade do enxerto, mais de 90% dos osteócitos residuais podem sobreviver, o que torna o enxerto particularmente propício à regeneração óssea. (Pape et al., 2010; Myeroff & Archdeacon, 2011). A formação de osso novo pelo enxerto e pelo hospedeiro permite uma incorporação rápida do enxerto, com uma fraqueza residual mínima da estrutura (Pape et al., 2010).

Alem disso, estes enxertos de osso vascularizados cicatrizam rapidamente na junção enxerto-recetor, graças a um processo de remodelação que imita o do osso normal.

Contudo, a principal limitação associada a este tipo de enxerto reside na complexidade da sua colheita e implantação, uma vez que o procedimento exige competências técnicas especializadas em microcirurgia vascular (Pape et al., 2010).

3.4.1.1.5 Gestão e armazenamento de enxertos ósseos autógenos

A gestão e o armazenamento das enxertos ósseos autógenos são cruciais para manter as suas propriedades biológicas. Recomenda-se armazenar os enxertos em uma solução salina normal, uma solução de glicose a 5 % ou sobre um tampão humido para preservar

sua atividade metabólica e o número de células osteoblásticas, em comparação com o armazenamento a seco. O armazenamento ao ar livre é desaconselhado, e os enxertos devem, sempre que possível, ser colhidos para implantação imediata.

A adição de pó antibiótico a um enxerto ósseo autólogo poderia reduzir o risco de infecção sem prejudicar a cicatrização, embora esta prática ainda não seja utilizada por rotina. Um estudo sobre pseudartrose da tíbia realizado por Chan et al. (2000) mostrou uma redução significativa das infecções com um enxerto impregnado com um antibiótico específico. Misturado com 1g de antibiótico em pó, o auto-enxerto ofereceria uma difusão local eficaz sem toxicidade. Alguns antibióticos, como a clindamicina ou a cefuroxima, podem estimular os osteoblastos em doses baixas, mas tornam-se nocivos em concentrações elevadas. Estes resultados são prometedores, mas ainda precisam de ser validados para utilização em cirurgia oral (Chan et al., 2000; Myeroff & Archdeacon, 2011).

Por conseguinte, é crucial otimizar a colheita, a preservação e o manuseamento intra-operatório do enxerto autólogo, de modo a preservar ao máximo a sua viabilidade e potencial biológico (Maus et al., 2008).

3.4.1.2 Vantagens e limitações dos enxertos autógenos

3.4.1.2.1 Benefícios clínicos

O tecido ósseo autólogo tem uma série de vantagens notáveis. A sua principal força reside no facto de ser proveniente do próprio paciente, eliminando qualquer risco de rejeição imunológica ou de transmissão de doenças infecciosas, como infecções bacterianas, virais (como o VIH ou a hepatite) e priões (Tlili et al., 2023).

Devido à sua origem autóloga, os transplantes não apresentam incompatibilidades histológicas ou imunogenicidade, o que os torna a opção mais segura do ponto de vista biológico, uma vez que os tecidos são naturalmente reconhecidos pelo sistema imunitário como parte do organismo (Seban et al., 2011).

Os enxertos ósseos autógenos apresentam ainda excelentes propriedades de biocompatibilidade e osteoestimulantes. Estas estão relacionadas com a estrutura osteocondutora natural do tecido ósseo e com a presença intrínseca de factores de crescimento como o fator de crescimento transformador- β (TGF- β), o fator básico de crescimento de fibroblastos (bFGF) e as BMPs (Maus et al., 2008). Estes componentes

biológicos promovem os três mecanismos fundamentais da regeneração óssea: osteogênese, osteocondução e osteoindução (Ferraz, 2023).

3.4.1.2.2 Limitações e desvantagens

Por outro lado, o osso autógeno tem algumas desvantagens, nomeadamente a necessidade de um local cirúrgico adicional, conhecido como local dador. Isto significa que os riscos pós-operatórios associados a este procedimento devem ser tidos em conta, como o risco de lesões no local do dador e a possibilidade de cicatrizes. Esta desvantagem tem levado alguns autores a privilegiar a utilização de osso alogénico ou de materiais sintéticos quando não é possível utilizar osso autógeno. Outra grande desvantagem dos enxertos autógenos são os diferentes graus de reabsorção que podem ocorrer a longo prazo. Esta reabsorção tende a ser mais pronunciada quando as tensões são mais elevadas. A disponibilidade de osso autógeno também pode ser um problema, particularmente em reconstruções complexas que requerem cirurgia de grande porte, como a colheita craniana ou ilíaca. Este fator limita a sua indicação, particularmente nos casos de perda óssea extensa, em que o volume necessário excede frequentemente o que pode ser colhido sem morbidade excessiva. (Zhao et al., 2021; Tlili et al., 2023)

Esta limitação é ainda mais acentuada nos doentes idosos, em que a qualidade e a quantidade de osso disponível são frequentemente reduzidas (Maus et al., 2008).

Além disso, os auto-enxertos envolvem custos cirúrgicos mais elevados e riscos acrescidos, como qualquer procedimentos cirurgicos, incluindo hemorragia excessiva, infeção, inflamação e dor, o que restringe a sua utilização a pequenos defeitos ósseos (Zhao et al., 2021).

3.4.2 Aloenxerto

Os aloenxertos representam a segunda técnica de enxerto ósseo mais comum. São atualmente uma alternativa amplamente utilizada aos autoenxertos em procedimentos de reconstrução óssea, particularmente em implantologia. Derivados de dadores humanos vivos ou cadavéricos, oferecem a grande vantagem de evitar a cirurgia no local do dador, reduzindo assim a morbidade cirúrgica (Misch & Dietsh, 1993; Amini et al., 2013; Zhao et al., 2021).

Os enxertos alogénicos estão disponíveis na forma fresca, congelada ou liofilizada. Embora as formas frescas e congeladas tenham um bom potencial osteoindutor, são raramente utilizadas devido ao risco infeccioso e ao curto prazo de validade. Os enxertos liofilizados, por outro lado, são mais seguros e estáveis, mas têm um desempenho biológico e mecânico inferior. Os aloenxertos existem em várias formas morfológicas, incluindo blocos, lascas, pós e matriz óssea desmineralizada (DBM). Obtida por tratamento ácido, a DBM expõe factores de crescimento (BMPs, TGF- β , bFGF), o que lhe confere uma elevada capacidade osteoindutora com um baixo risco imunitário. No entanto, a sua baixa resistência mecânica limita a sua utilização ao preenchimento de defeitos, muitas vezes como complemento de outros materiais.

Apesar das suas vantagens, os aloenxertos têm limitações, como o risco residual de transmissão infecciosa, a variabilidade biológica, a redução da osteoindução devido aos tratamentos de preparação e a menor estabilidade mecânica do que os autoenxertos. Além disso, a sua utilização é dificultada por restrições regulamentares e, por vezes, pela disponibilidade limitada de tecidos.

Nos últimos anos, estas limitações levaram a uma mudança gradual para materiais substitutos sintéticos ou à base de plantas, que são mais estáveis, disponíveis e padronizados. No entanto, os aloenxertos, quando devidamente indicados e utilizados em protocolos controlados, continuam a ser uma solução eficaz e complementar para a gestão de defeitos ósseos na cirurgia de implantes (Zhao et al., 2021).

Tabla 3. Diferentes procedimentos de tratamento de enxertos ósseos e seus efeitos. (Tulasne & Andreani, 2004).

| Tratamento | Efeitos | Enxerto obtido |
|----------------------------------|---|---|
| Lavagens + | Eliminação da medula Diminuição da antigenicidade | → Aloenxertos frescos |
| Refrigeração + | Anti-infeccioso | → Aloenxertos congelados |
| Etanol + | Eliminação de gorduras Diminuição da antigenicidade Anti-infeccioso | |
| Desidratação (liofilização) + | Anti-infeccioso Diminuição da antigenicidade Morte celular | → Freeze-Dried Bone Allograft |
| Descalcificação + | Eliminação do cálcio Exposição de proteínas de formação óssea | → Decalcified Freeze-Dried Bone Allograft (DFDBA) |
| Tratamento térmico (calor) | Eliminação da estrutura orgânica Eliminação do potencial infeccioso e antigénico | → Xenoenxertos |

3.4.3 Enxertos aloplásticos : materiais de substituição óssea sintética

Os materiais aloplásticos, de origem química ou sintética, podem ser reabsorvíveis ou não e têm mostrado eficácia em estudos experimentais e clínicos. São utilizados tanto para prevenir a reabsorção óssea pós-extração quanto para compensar déficits ósseos na maxila e mandíbula. A seleção desses materiais baseia-se em critérios físicos, biológicos e clínicos, com a vantagem de sua disponibilidade ilimitada (Seban et al., 2011 ; Zhao et al., 2021).

Ao criar um enxerto ósseo sintético, é ideal conceber um enxerto biocompatível que suporte o crescimento de novo osso. O enxerto sintético deve também ser estruturado de forma a assemelhar-se idealmente ao osso esponjoso ou cortical (Gillman & Jayasuriya, 2021).

Além disso, ao contrário dos enxertos autólogos e alogênicos, que variam em qualidade conforme a origem do material, os materiais aloplásticos garantem propriedades constantes, uma vez que são fabricados de forma controlada. Esses biomateriais são biologicamente inertes, sendo classificados principalmente como osteocondutores, ou seja, oferecem suporte para a reparação óssea, mas não induzem a formação de osso novo por si mesmos, necessitando de uma estrutura porosa para favorecer a migração e proliferação de osteoblastos a partir dos tecidos vizinhos. A estrutura porosa também deve permitir a reabsorção gradual do biomaterial, que será substituído por osso vivo ao longo do tempo, promovendo o remodelamento ósseo por meio da reabsorção e aposição. Dentro desta categoria, encontram-se cerâmicas bifásicas de fosfato de cálcio, biovidro, cimentos de fosfato de cálcio, sulfatos de cálcio, polímeros, metais e compósitos, disponíveis em diversas formas como pó, pastas, blocos ou revestimentos, dependendo da aplicação clínica e das necessidades específicas do procedimento (Gillman & Jayasuriya, 2021; Zhao et al., 2021)

3.4.4 Xenoenxerto





Os xenoenxertos são biomateriais de origem animal, principalmente derivados do osso esponjoso bovino, amplamente utilizados na regeneração óssea. O seu processo de fabricação envolve tratamento térmico e/ou químico para eliminar a fração orgânica, reduzindo assim os riscos de imunogenicidade e de transmissão de agentes patogênicos, como a encefalopatia espongiforme bovina (Jordana et al., 2017; Quisiguiña Salem et al., 2023).

Para garantir a sua segurança, estes enxertos são igualmente submetidos a tratamentos complementares como a deslipidação, a inativação viral, a esterilização por radiação e a desproteinização, que limitam os riscos de contaminação e reduzem a resposta imunitária. Este processo confere aos xenoenxertos uma elevada biocompatibilidade e propriedades osteocondutoras ideais (Tulasne et Andreani, 2004)

Entre esses biomateriais, o Bio-Oss, derivado da hidroxiapatite bovina, é um dos mais estudados na cirurgia oral e implantologia. Ele atua como um substrato mineralizado que facilita a migração de células osteogênicas e vasculares para a sua estrutura trabecular, embora não apresente propriedades osteogênicas nem osteoindutoras, só características osteocondutoras (Miron, 2024).

A sua principal vantagem é a baixa taxa de reabsorção, garantindo estabilidade volumétrica, o que o torna particularmente indicado para procedimentos de aumento ósseo, como a elevação do seio maxilar e a reconstrução das cristas alveolares. A eficácia dos xenoenxertos pode ser otimizada através da sua associação com osso autógeno, promovendo uma melhor integração e uma regeneração óssea comparável à obtida com o DFDBA (Tulasne et Andreani, 2004; Seban et al., 2011; Ciğerim et al., 2023; Miron, 2024).

Tabela 4. Tabela resumo das vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de enxertos ósseos. Adaptada de (Seban & Bonnaud, 2012).

| Materiais | Vantagens | Desvantagens |
|--|--|---|
|  <p>(Imagem cedida por Antonio Mano Azul)</p> <p>Autoenxerto</p> | <ul style="list-style-type: none"> -Osteogénico, osteocondutivo, e osteoindutivo (blocos corticoesponjosos com elevada celularidade) - Rápida revascularização e consolidação do enxerto | <ul style="list-style-type: none"> - Quantidade limitada (amostras intra-orais) -São necessários dois locais de cirurgia - Complicações relacionadas com os locais de amostragem (lesão de um obstáculo anatômico, morbidade do local) - Técnica acessível a profissionais especializados -Reabsorção imprevisível |
|  <p>Xenoenxerto</p> | <ul style="list-style-type: none"> - Quantidades ilimitadas -Estrutura porosa facilita a indução osteoindução - Fácil de armazenar - Unico local cirúrgico | <ul style="list-style-type: none"> - Risco mínimo de transmissão de um agente patogénico - Parcialmente reabsorvível após neoformação óssea - Risco mínimo de reação imunológica (processo de purificação que tende a eliminar qualquer antigenicidade) |
|  <p>Aloenxerto</p> | <ul style="list-style-type: none"> -Quantidades ilimitadas -Fácil de conservar - Unico local de operação - Totalmente reabsorvível após neoformação óssea - Logetas intertrabeculares livres facilitando a osteocondução | <ul style="list-style-type: none"> -Risco mínimo de transmissão de um agente patogénico -Risco mínimo de uma reação imunológica -Propriedades mecánicas variam de acordo com o tratamento e a origem |
|  <p>Enxerto Aloplástico</p> | <ul style="list-style-type: none"> -Quantidades ilimitadas -Unico local de operação -Nenhum risco de transmissão de um agente patogénico -Nenhum risco imunológica - Biodegradável - Os materiais à base de fosfato tricálcico são bioactivos (as suas macroporosidades facilitam a osteocondução) | <ul style="list-style-type: none"> -Inúmeras variedades com propriedades mecánicas e biológicas muito diferentes -Os materiais à base de fosfato tricálcico têm uma biodegradação variável (reab-sorção lenta ou não reabsorvível) em função da sua composição - os materiais à base de alumina são bioinertes (não conduzem à formação óssea) e não reabsorvíveis -Fragilidade dos blocos aloplásticos nas zonas de tensão |

3.5 Técnicas cirúrgicas de enxerto ósseo

3.5.1 Autoenxerto onlay

Um enxerto de aposição óssea consiste em sobrepor um ou mais blocos de osso autógeno na zona a aumentar, fixando-os depois com mini-parafusos de titânio para assegurar a sua estabilidade durante a fase de cicatrização. Estes enxertos autógenos de aposição estão

indicados para a reconstrução pré-implantar de defeitos ósseos verticais e horizontais (Burdurlu et al., 2019).

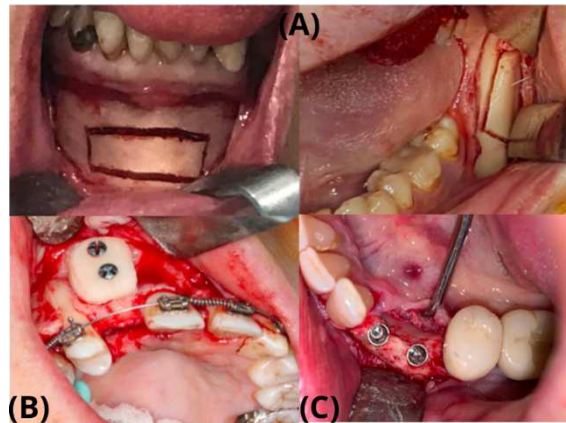


Figura 11. (A) Locais dadores de sínfise e de ramo. (B) Fixação do bloco com mini-parafusos. (C). Colocação de implantes após a cicatrização. Imagens cedidas por (Burdurlu et al., 2019).

3.5.2 Autoenxerto Inlay ou técnica de sanduíche

O aumento vertical da crista alveolar é um procedimento essencial na implantologia dentária, destinado a compensar a altura óssea insuficiente, que compromete a colocação de implantes em condições ótimas. Quando existe altura residual suficiente, a utilização de implantes curtos pode representar uma solução menos invasiva, aproveitando o osso nativo disponível e evitando procedimentos de enxerto mais complexos. No entanto, esta opção continua a ser limitada, particularmente em casos que requerem uma restauração óssea vertical significativa ou em áreas com elevados requisitos estéticos (Barausse et al., 2025).

Neste contexto, a técnica inlay, também conhecida como técnica “sanduíche”, surgiu como uma alternativa promissora para o preenchimento vertical de cristas atrofiadas. Introduzida por Schettler em 1974 para mandíbulas atrofiadas (Skondras et al., 2017), e depois adaptada por Sailer em 1989 para reconstruções maxilares, este método baseia-se na inserção de um enxerto ósseo num ambiente intraósseo fechado, o que favorece a sua proteção e vascularização (Barausse et al., 2025).



Figura 12. Técnica de sanduíche. Imagens cedidas por (Abdullah Özel).

O enxerto é interposto entre dois segmentos ósseos mobilizados por osteotomia, e fixado com parafusos de osteossíntese, facilitando uma integração biológica ótima. Embora esta técnica tenha mostrado resultados encorajadores, requer uma habilidade cirúrgica avançada e um planejamento cuidadoso para reduzir o risco de reabsorção do enxerto, infecção ou falha do implante (Barausse et al., 2025).

3.6 Contra-indicações

Não existem contra-indicações específicas para a realização de enxertos ósseos, com exceção das geralmente associadas a qualquer procedimento cirúrgico na região oral ou maxilofacial, que estão em grande parte relacionadas com o estado clínico geral do doente. Estas contra-indicações são as seguintes (Schwartz-Arad et al., 2014; Skondras et al., 2017) :

- História de radioterapia na região cervico-facial,
- Quimioterapia em curso,
- Insuficiência hepática ou renal avançada,
- Diabetes mellitus não controlada,
- Presença de patologias intra-orais activas,
- Tabagismo,
- Doença periodontal ativa,
- Má higiene oral,
- Ou falta de cooperação do paciente.

3.7 Locais dadores

3.7.1 Seleção

Os pacientes e os clínicos devem estar conscientes das variações nas taxas de sobrevivência dos implantes dentários, que podem ser influenciadas pela origem do osso autógeno utilizado para o enxerto, seja ele proveniente da crista ilíaca ou de locais intraorais. Essa diferença pode ser explicada, em parte, pela origem embriológica dos tecidos ósseos: enquanto os ossos maxilares e mandibular se formam por ossificação intra membranosa, o osso ilíaco resulta de um processo de ossificação endocondral. Essas distintas vias de formação podem desempenhar um papel crucial na taxa de reabsorção

do enxerto, influenciando diretamente sua integração e, conseqüentemente, a longevidade dos implantes dentários (McKenna et al., 2022).

Assim, para planejar adequadamente um procedimento de enxerto ósseo, é essencial considerar vários critérios, incluindo uma avaliação detalhada da área recetora. Além disso, a escolha do local dador deve considerar vários fatores, como a extensão do defeito ósseo, a quantidade de osso necessária para a reconstrução, o tipo de enxerto (em bloco ou em partículas), bem como as preferências do paciente e do profissional de saúde. É fundamental selecionar um local capaz de fornecer um volume ósseo adequado, garantindo uma base sólida para a reabilitação protética (Misch, 2015).

De facto, os enxertos variam significativamente em termos da sua embriologia, histologia, propriedades mecânicas e do volume que pode ser coletado (Sakkas et al., 2017).

Em termos de volume ósseo, do maior para o menor, os locais dadores são classificados da seguinte forma: crista ilíaca posterior, crista ilíaca anterior, tíbia proximal, sínfise mandibular, ramo mandibular e tuberosidade maxilar. Para necessidades mais modestas, pode ser considerada a coleta de osso local na área planeada para o aumento, de modo a satisfazer necessidades de enxerto menos volumosas (Misch, 2015).

Um local dador é considerado ideal se permitir uma coleta fácil, limitar a hemorragia, facilitar o tratamento pós-operatório, permitir a colheita de novo, promover uma cicatrização rápida e apresentar poucas complicações (Bayram et al., 2024).

As áreas dadoras de autoenxerto ósseo estão divididas em duas categorias principais: áreas dadoras extra-orais e intra-orais (Skondras et al., 2017).

3.7.2 Locais intra-orais

A origem membranosa da maxila e da mandíbula confere ao osso autógeno intraoral propriedades biológicas particularmente vantajosas (McKenna et al., 2022), tornando-o uma opção privilegiada para enxertos ósseos (Budihardja, 2019). O material ósseo pode ser colhido na maxila (tuberosidade maxilar) ou na mandíbula (sínfise mandibular; ramo da mandíbula; tórus mandibular) (Silva et al., 2006; Budihardja, 2019).

O osso coletado na região intraoral oferece não apenas propriedades osteogénicas, osteocondutivas e osteoindutivas para enxertos, mas também vantagens em termos de resistência mecânica, devido à sua estrutura óssea cortical (Budihardja, 2019). Nesse contexto, as amostras ósseas intra-orais são, em sua maioria, corticosponjosas, exceto a amostra da tuberosidade, que é exclusivamente esponjosa (Seban et al., 2011). Além disso, os dadores intraorais podem ser utilizados para a reconstrução de defeitos ósseos alveolares, sejam eles horizontais, verticais ou uma combinação de ambos (Budihardja, 2019).

Graças à sua proximidade do local recetor, as zonas dadoras intra-orais permitem limitar a duração da operação e o tempo de anestesia, tornando-as particularmente adequadas para a cirurgia de implantes em ambulatório sob anestesia local. A sua acessibilidade cirúrgica é uma grande vantagem, facilitando a colheita de osso e reduzindo o desconforto pós-operatório para o paciente. Além disso, estes locais têm menos morbidade do que outros locais de colheita (Silva et al., 2006).

Segundo Silva et al. (2006), a sínfise foi o local dador intraoral mais utilizado para a reconstrução do rebordo alveolar. A distribuição detalhada dos sítios dadores encontra-se na **tabela 6**.

Tabela 5. Distribuição dos locais dadores intra-orais, locais utilizados para aumentar o volume do rebordo alveolar antes da colocação do implante (Silva et al., 2006).

| Sítios Dadores Intraorais | Nº de Procedimentos de Enxerto (%) |
|---------------------------|------------------------------------|
| Sínfise | 50 (40) |
| Ramo | 36 (28,8) |
| Tuberosidade | 39 (31,2) |
| Total | 125 (100) |

3.7.2.1 Mandíbula

Na mandíbula, os locais mais comuns de coleta de osso são a sínfise do mento, localizada na região anterior, e a zona molar posterior, que engloba o segmento lateral distal do corpo mandibular, bem como a porção inferior e anterior do ramo (Tulasne & Andreani, 2004).

3.7.2.1.1 Sínfise mandibular

A sínfise mandibular é considerada um local de dador preferencial devido à sua excelente relação benefício-risco (Raghoobar et al., 2001).

A colheita de osso do mento tem várias vantagens: fácil acesso, uma quantidade de osso geralmente suficiente para aumentar até três segmentos alveolares, tempo de cirurgia reduzido e a possibilidade de efetuar o procedimento em regime ambulatorio com uma anestesia local simples, com ou sem sedação. Além disso, é uma fonte particularmente interessante, pois ela fornece um grande volume de osso cortical e esponjoso, o que promove uma melhor cicatrização do enxerto (Budihardja, 2019). Estas características explicam a sua popularidade como local de doação (Raghoobar et al., 2001).

A zona de recolha situa-se entre os forâmens mentonianos, as raízes dentárias e o bordo basilar (**Fig. 13**). É crucial preservar a parte central mais saliente desta área para não alterar a forma do queixo (Tulasne & Andreani, 2004).

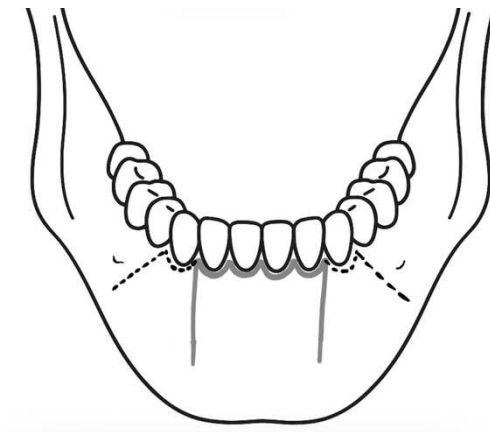


Figura 13. Abordagem sulcular limitada (linhas cinzentas) e abordagem sulcular alargada (linhas pontilhadas). Imagem adaptada de (Tulasne & Andreani, 2004).

As descargas são distalisadas mas ficam a distância dos forâmens mentonianos (**Fig. 13**).

No seu livro, Seban & Bonnaud (2012) ilustram um exemplo de coleta óssea intraoral da parassínfise com uma microscerra. O acesso à sínfise foi obtido através de uma incisão labial.



Figuras 14. *Incisão vestibular baixa no plano superficial perpendicular ao eixo dos dentes. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).*

Esta incisão estende-se da superfície distal de um canino até ao canino oposto, a uma distância da emergência labiomentar do nervo alveolar inferior (Seban & Bonnaud, 2012).



Figura 15. *Incisão do plano profundo no contacto ósseo perpendicular ao ao eixo dos dentes. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).*



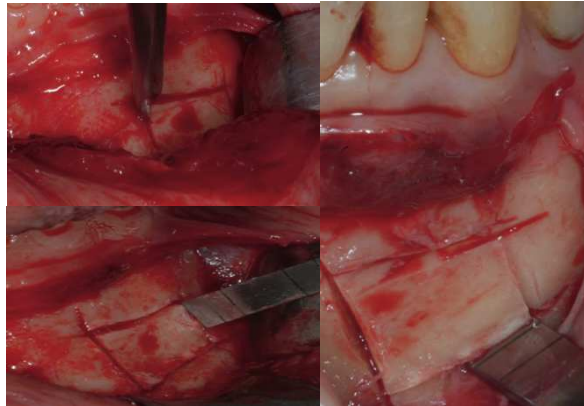
Figura 16. *Exposição do local de colheita. Imagem cedida por (Seban & Bonnaud, 2012).*

O acesso à sínfise é obtido através do espelhamento do perióstio com as inserções musculares até ao bordo inferior da mandíbula, com a incisão estendida distalmente em direção do foramen mental.



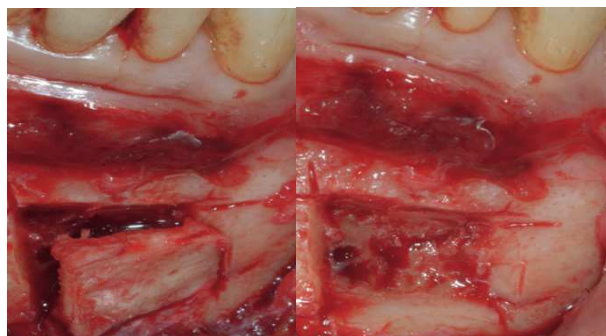
Figuras 17. Duas linhas verticais e duas horizontais delimitam a osteotomia do enxerto paraespinhoso. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).

Os cortes devem ser efectuados com uma margem de segurança de 3 a 5 mm em relação às pontas das raízes, ao bordo inferior da mandíbula (bordo basilar) e ao forâmen mentoniano, de forma a evitar danos às estruturas anatómicas adjacentes, como o canal do nervo alveolar inferior e os vasos sanguíneos locais (Silva et al., 2006).



Figuras 18. A osteotomia é completada com um cinzel de osso reto e angulado. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).

Alguns autores sugerem também a utilização de piezoeléctricos (Tlili et al., 2023), mas também com uma broca esférica, uma serra ou uma trefina sempre sob irrigação abundante com solução salina, consoante o tipo de enxerto pretendido (Tulasne & Andreani, 2004).



Figuras 19. Um segmento corticoesponjoso é mobilizado e dissociado da zona dadora. O osso esponjoso é recuperado das camadas profundas quando o volume ósseo é substancial. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).

Antes da colheita de osso da sínfise mandibular, podem ser efectuadas perfurações corticais para delimitar a área a colher e facilitar o descolamento do bloco sem

enfraquecer as estruturas vizinhas (**Fig 20.b**). Do mesmo modo, são efectuadas perfurações no local recetor (**Fig 20.d**) para estimular a hemorragia local, promover a vascularização e melhorar a osteointegração do enxerto. Estas micro-perfurações permitem a chegada de células osteoprogenitoras e de factores de crescimento, otimizando a absorção do enxerto ósseo.

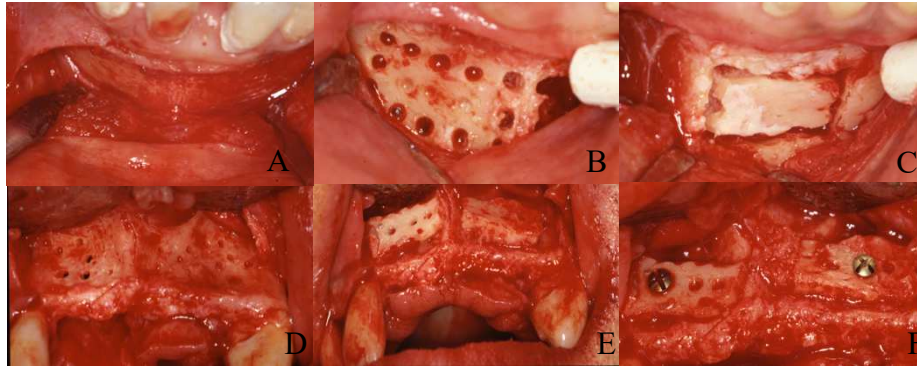


Figura 20. (A) Exposição da sínfise mandibular na área dadora. (B) Perfurações corticais na área dadora. (C) Corte do bloco de osso autólogo na sínfise. (D) Perfurações corticais na área recetora. (E) Posicionamento do enxerto ósseo no local recetor. (F) Fixação do enxerto por meio de parafusos. *Imagens cedidas por António Mano Azul.*

Após a colheita do enxerto, a área dadora é alisada com brocas de diamante para remover as arestas ósseas afiadas, reduzindo assim o risco de deiscência (Bayram et al., 2024).



Figura 21. Para restaurar a morfologia, um substituto ósseo preenche o defeito criado pela remoção. *Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).*

Ou um agente hemostático (surgicel) como referido por Tlili et al, 2023, consoante a extensão.



Figuras 22. Uma sutura descontínua com um fio absorvível assegura o fecho do plano profundo. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud, 2012).



Figuras 23. Fecho do plano de superfície. Imagens cedidas por (Seban & Bonnaud 2012).

É necessário realizar duas camadas de suturas mucosas para evitar a deiscência e a infecção (Budihardja, 2019).



Figura 24. Uma ligadura limita o edema pós-operatório. Imagem cedida por (Seban & Bonnaud, 2012).

3.7.2.1.2 Ramo mandibular

A região posterior da mandíbula é também uma fonte para a colheita de osso, oferecendo várias vantagens em relação à sínfise e a outros locais dadores extraorais (Misch, 2015). A superfície lateral do corpo mandibular, localizada atrás do buraco mentoniano, é facilmente acessível (Tulasne & Andreani, 2004). Para além disso, o músculo masseter fornece um volume de tecido mole, tornando desnecessário o aumento desta zona dadora (Misch, 2015).

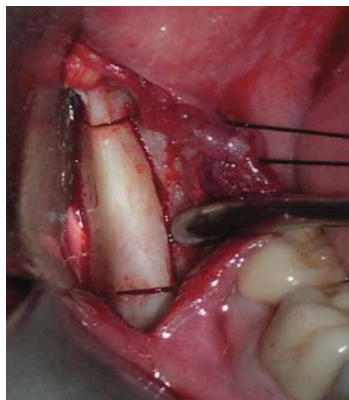


Figura 25. Local dador do ramo mandibular. Imagem cedida por (Silva et al., 2006).

No entanto, segundo Budihardja (2019), o osso do ramo mandibular tem uma baixa proporção de tecido esponjoso, o que o torna desfavorável para a cicatrização óssea e regeneração de enxertos. Vários estudos salientaram a elevada presença de osteócitos não viáveis neste tipo de osso, comprometendo o processo de osteointegração. Assim, a melhoria da osteocondutividade é fortemente recomendada aquando da utilização de enxertos provenientes desta região.

Relativamente ao desenho da incisão para aceder a esta zona difere consoante o tipo de colheita de osso, se é em bloco ou em partículas. A incisão efectuada aquando da colheita de um enxerto em bloco é semelhante a utilizada na extração dos dentes do siso. É efectuada uma incisão sulcular ao longo dos dentes posteriores, sendo depois prolongada posterior e lateralmente num ângulo de 45 graus a partir da face distobucal do segundo molar ou da base da almofada retromolar na ausência de um molar. A incisão é então continuada para cima ao longo do ramo ascendente. Depois de efectuada a incisão, levanta-se um retalho mucoperióstico para expor o ramo lateral e o corpo da mandíbula (Misch, 2015). Tem-se o cuidado especial de evitar estender a incisão demasiado para a superfície lingual, a fim de proteger as estruturas situadas nesta parte da mandíbula. A remoção do periosteio expõe a crista oblíqua externa, a região retromolar e a face lateral do ramo (Silva et al., 2006).

No estudo de Silva et al (2006) foram utilizadas brocas fissuradas e redondas para marcar e seccionar o osso cortical, de modo a criar a forma tridimensional necessária para restaurar o defeito. Foi tomado especial cuidado para evitar estender as incisões ósseas demasiado para o lado lingual. Foi utilizada uma broca redonda grande para criar um sulco longitudinal que liga os cortes verticais efectuados na parede lateral do ramo. Este sulco criou uma linha de fratura que facilitou a remoção do enxerto, sem atravessar a placa cortical e permanecendo acima do nível do canal alveolar inferior. O enxerto foi removido e a ferida fechada com suturas contínuas absorvíveis.

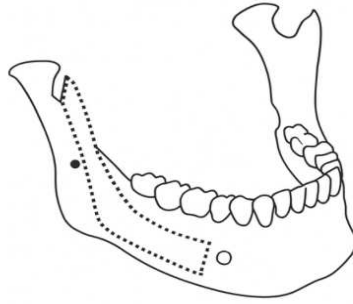


Figura 26. Área de colheita: está localizada anteriormente à projeção lateral da coluna vertebral de Spix (ponto preto) e atrás do foramen mental. Imagem adaptada de (Tulasne & Andreani, 2004).

É possível recuar ao longo da linha oblíqua até à ponta do processo coronoide (Herford & Dean, 2011) (**Fig. 26**) e colher principalmente osso cortical nesta região. No entanto, a quantidade de osso disponível é geralmente limitada (Tulasne & Andreani, 2004).

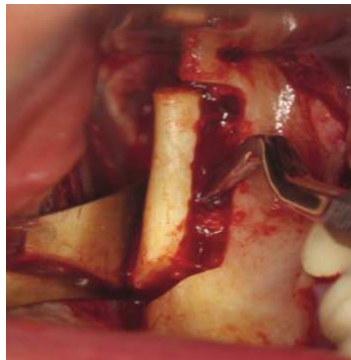


Figura 27. Utiliza-se um elevador de Potts para retirar o enxerto de ramo da mandíbula. Imagem cedida por (Misch, 2015).

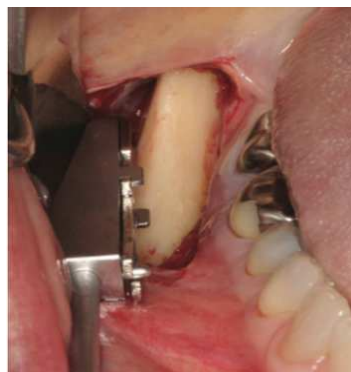


Figura 28. Um dispositivo de raspagem óssea é utilizado para colher partículas de osso da região do ramo. Imagem cedida por (Misch, 2015).

A mandíbula posterior é a área de eleição para remover grandes quantidades de osso particulado utilizando uma ferramenta de raspagem (**Fig. 28**).

O osso cortical denso deve ser constantemente lubrificado com solução salina estéril durante a raspagem. Em geral, cerca de 4 ml de enxerto autógeno particulado podem ser

colhidos nesta área. A colheita de osso da superfície cortical com uma lâmina raspadora resulta numa morbidade mínima (Misch, 2015).

3.7.2.1.3 Tórus Mandibular

Segundo Jun et al. (2010), a incidência geral dos tori mandibulares é estimada entre 6% e 7%. As exostoses intraorais representam uma fonte alternativa significativa de osso cortical para enxertos. De facto, ao contrário do osso tipo D4 encontrado na tuberosidade maxilar, os tori, devido ao seu conteúdo cortical denso, são classificados nas categorias D1/D2. Essas excrescências ósseas benignas são frequentemente removidas durante procedimentos cirúrgicos ambulatoriais específicos, especialmente quando interferem na adaptação de próteses ou por outras razões clínicas.

Existe uma linha de separação natural entre os toris e o osso adjacente, o que permite, geralmente, que sejam separados do osso nativo com um simples golpe preciso com o osteótomo e o martelo. Essa facilidade de extração, juntamente com a proximidade imediata dos tórus ao local cirúrgico, ajuda a evitar a formação de defeitos adicionais, representando, assim, uma vantagem considerável.

Além disso, a remoção dos tórus mandibulares pode contribuir para a redução dos distúrbios neurosensoriais frequentemente observados em enxertos ósseos provenientes do ramo mandibular ou da sínfise, especialmente no que diz respeito ao nervo alveolar inferior. Embora o procedimento de coleta dos tórus mandibulares envolva um risco potencial de lesão ao nervo lingual ou ao ducto submandibular, esse risco pode ser eficientemente minimizado com a proteção adequada dos tecidos moles.



Figuras 29. (A) Tórus lingual exposto. (B) Tórus fixado no rebordo como enxerto onlay com parafusos de 6 mm. (C) Colocação de 3 implantes. Imagens cedidas por (Jun et al., 2010).

Tabela 6. Tabela recapitulativo dos enxertos colhidos na mandíbula. Adaptada de (Seban & Bonnaud, 2012).

| Local dador mandibular | Vantagens | Desvantagens | Complicações possíveis |
|------------------------|---|--|--|
| Sínfise mandibular | <ul style="list-style-type: none"> -Bloco corticoesponjoso (de volume variável em função do grau de desenvolvimento da sínfise) - Tratamento de um espaço edêntulo correspondente à ausência de 2 a 3 dentes - Acesso cirúrgico facilitado e confortável | <ul style="list-style-type: none"> - Quantidade limitada de osso - Suturas complexas em dois planos (muscular e mucoso) | <ul style="list-style-type: none"> -Edema reduzido por um penso compressivo - Equimose - Hipoestesia labio-mentoniana regressiva em algumas semanas (lesão do pedículo inci-sive canino) - Secção dos ápices dos incisivos e caninos (evitada por uma TAC prévia para determinar o comprimento das raízes) -Pontes cicatriciais inestéticas |
| Ramo mandibular | <ul style="list-style-type: none"> - Bloco preferencialmente cortical; osso esponjoso abundante em camadas profundas retromolar - Tratamento de um espaço edêntulo correspondente à ausência de 3 a 4 dentes - Sem prejuízo estético (Musculo masseter volumoso) | <ul style="list-style-type: none"> - Dificuldade de abordagem cirúrgica se a abertura for limitada bucal (anestesia geral mais confortável) - Colocação de implantes contra-indicada na região da amostra | <ul style="list-style-type: none"> - Trismo pós-operatório - Risco de lesão do nervo alveolar inferior (TAC indispensável) - Risco de lesão do nervo lingual. - Risco de lesão das raízes dos molares. - Disestesia devido ao hematoma pós-operatório resolve-se em alguns dias. |

3.7.2.2 Maxila

3.7.2.2.1 Tuberosidade maxilar

A área em redor da tuberosidade maxilar é constituída principalmente por osso esponjoso. A colheita pode ser efetuada com uma broca ou, mais simplesmente, com uma pinça goiva. No entanto, o volume de osso disponível nesta zona é limitado, raramente ultrapassando 1 cm² (Tulasne & Andreani, 2004).

Segundo Tulasne & Andreani (2004), a região da tuberosidade maxilar é indicada principalmente para enxertos de preenchimento e regeneração óssea guiada (ROG), apresentando como vantagens o fácil acesso e a possibilidade de ser realizada sob anestesia local. No entanto, os autores também alertam para os riscos de comunicação oro-sinusal e para as frequentes variações nas dimensões da área colhida, o que pode limitar sua previsibilidade.

De acordo com Misch (2015) a tuberosidade oferece uma consistência de enxerto mais suave, muitas vezes vantajosa para o preenchimento de defeitos ósseos. O osso nesta região é caracterizado por uma estrutura porosa e uma fina camada cortical externa. Por estar localizada no mesmo campo operatório que o utilizado para uma abordagem lateral para elevar o assoalho do seio, a tuberosidade maxilar é um local de colheita que deve ser considerado sistematicamente. Deve-se notar, no entanto, que a quantidade de osso disponível pode ser subestimada, uma vez que a mucosa que cobre esta área é geralmente mais espessa.

A tomografia computadorizada é fundamental para a avaliação da tuberosidade maxilar como local dador, pois permite uma análise tridimensional precisa do volume e da estrutura óssea, além de identificar riscos como a comunicação buco-sinusal por efração do assoalho do seio maxilar. Embora radiografias panorâmicas ou periapicais possam fornecer uma visão geral, só a tomografia oferece o nível de detalhe necessário para um planejamento cirúrgico seguro e eficaz (Tulasne & Andreani, 2004).

As principais limitações anatómicas à colheita de osso da tuberosidade maxilar são a proximidade do seio maxilar, das cristas pterigóideas, dos dentes molares e do canal palatino (Misch, 2015).

Relativamente à colheita óssea, o acesso a esta área é feito através de uma incisão efetuada ao longo do rebordo alveolar, ao nível da tuberosidade. Uma incisão de descarga vertical é então efetuada na superfície lateral da maxila posterior para permitir um descolamento mucoperiosteal extenso. Esta manobra expõe a tuberosidade, o rebordo alveolar e a parede lateral do maxilar. O tecido palatino também precisa de ser descolado para expor toda a largura da tuberosidade (Silva et al., 2006; Misch, 2015).



Figura 30. Local dador da tuberosidade maxilar. Imagem cedida por (Silva et al., 2006)

3.7.3 Locais extra-orais

Para os casos mais complexos, os enxertos pré-implantares mais frequentemente utilizados são de origem ilíaca ou parietal.

3.7.3.1 Íliaco

Os primeiros trabalhos sobre o tratamento de maxilares atrofiadas com implantes dentários centraram-se na utilização de enxertos ósseos colhidos da crista ilíaca para a reconstrução maxilar (Misch, 2015). Apesar de ser comumente utilizada na reconstrução mandibular, a crista ilíaca apresenta uma natureza predominantemente esponjosa, o que a torna particularmente propensa à reabsorção óssea após o enxerto (Tulasne & Andreani, 2004; Sakkas et al., 2017; Zhang et al., 2024).

As técnicas de extração de osso da crista ilíaca anterior incluem a curetagem, as técnicas bicorticais e tricorticais, o método de alçapão, a trepanação e o *resurfacing acetabular*.

Ainda que o osso colhido proporcione uma quantidade adequada com boas propriedades osteogénicas e osteocondutoras, a colheita pode causar certa morbidade no local dador (Myeroff & Archdeacon, 2011). Além disso, este local dador possui várias desvantagens, como a necessidade de cirurgia hospitalar, o uso de anestesia geral, uma possível hospitalização após o procedimento e um impacto considerável na mobilidade do paciente (Misch, 2015).

Por conseguinte, estas limitações, aliadas ao fato de que os implantes dentários geralmente exigem uma quantidade reduzida de osso, contribuíram para o aumento da utilização de enxertos ósseos autólogos em bloco, colhidos diretamente de locais intraorais (Sakkas et al., 2017).

3.7.3.2 Osso parietal

O osso parietal é um osso plano e par que contribui para a formação da calvária craniana (Angonèse et al., 2010). A espessura do osso parietal varia de 3-12 mm. O enxerto ósseo parietal é uma técnica para obter osso membranoso, utilizado na reconstrução de defeitos craniomaxilofaciais em tecidos ósseos duros (Haggerty, 2015).

Embora ainda exista alguma relutância em utilizar o osso parietal para enxertos ósseos, trata-se de uma prática estabelecida há muito tempo. As primeiras amostras cranianas foram recolhidas em 1890, e a utilização do osso parietal como enxerto tornou-se uma técnica reconhecida em 1929 (Leclercq et al., 2007).

No entanto, é a Paul Tessier que se atribui a utilização mais sistemática do osso parietal como local dador, particularmente em reconstruções faciais. Esta abordagem marcou um ponto de viragem na cirurgia reconstrutiva e abriu caminho para uma exploração aprofundada do local dador de osso parietal (Tulasne & Andreani, 2004).

O enxerto parietal caracteriza-se por uma arquitetura particular, composta por finas camadas de osso cortical combinadas com uma espessura variável de osso esponjoso, em função da estrutura da calvária do paciente. Esta configuração densa confere-lhe uma grande estabilidade mecânica, o que explica a ausência quase sistemática de reabsorção pós-operatória. Em contrapartida, os enxertos ilíacos, constituídos maioritariamente por osso esponjoso, apresentam uma reabsorção óssea significativa, que pode atingir 40 a 60% do seu volume inicial. Enquanto o enxerto parietal oferece a vantagem de uma excelente estabilidade volumétrica, o enxerto ilíaco permite colher uma maior quantidade de osso, mais facilmente modelável e mais adaptado às reconstruções que requerem um volume substancial. Assim, nos casos de atrofia severa da maxila, o enxerto ilíaco permanece frequentemente a solução de eleição (Leclercq et al., 2007).

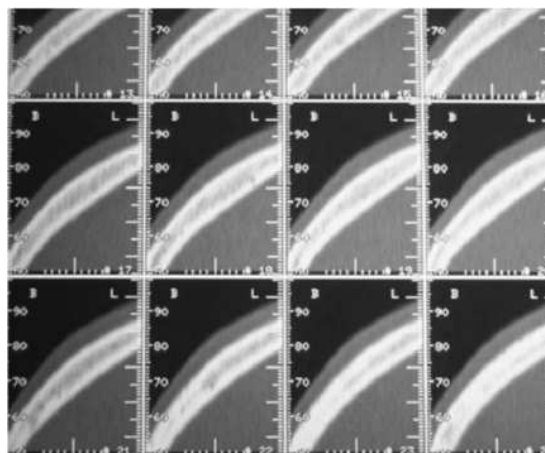


Figura 31. A TAC craniana efetuada antes do enxerto é utilizada para avaliar a espessura do osso parietal e o estado da diploia. Imagem cedida por (Leclercq et al., 2007).

É realizada previamente uma tomografia craniana (**Fig. 31**) com o objetivo de avaliar a espessura e a densidade do osso parietal na zona de colheita, tendo em conta que estes parâmetros podem variar significativamente entre indivíduos (Leclercq et al., 2007).

O doente fica hospitalizado durante dois dias com uma antibioterapia profiláctica para reduzir o risco de infeção associado à operação (Leclercq et al., 2007).

Segundo Leclercq et al (2007), existem diferentes técnicas para a colheita de enxertos ósseos. Sempre que possível, deve-se privilegiar a obtenção de osso cortico-esponjoso. O osso parietal apresenta uma estrutura composta por um córtex externo relativamente espesso (cerca de 2 mm), em contacto com o couro cabeludo, e um córtex interno, adjacente às meninges. Entre estas duas camadas de osso compacto, encontra-se a diploia, uma camada de osso medular mais frágil, cuja espessura varia de acordo com o indivíduo e tende a reduzir-se com o envelhecimento. Caso a diploe seja demasiado fina, existe o risco de perfuração do córtex interno, com exposição das meninges. Nessa eventualidade, parte do enxerto colhido pode ser reposicionada no local para garantir a proteção da área exposta.

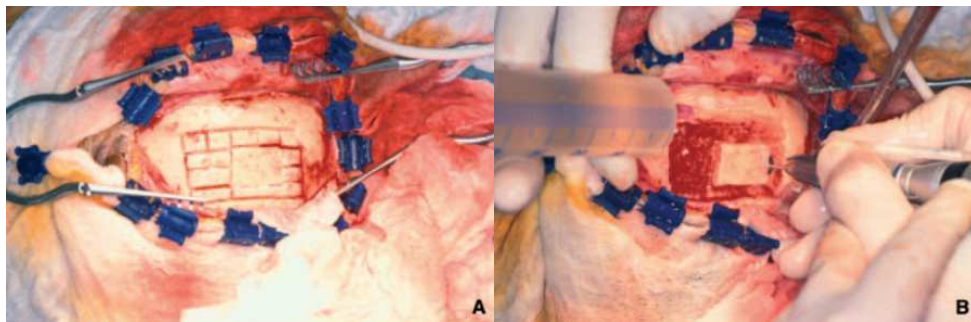


Figura 32. Delineação do tamanho dos principais planaltos corticospongiais utilizando uma broca esférico de grandes dimensões (A). Os tabuleiros são então cuidadosamente removidos: uma serra circular de diamante é utilizada para iniciar o bordo diplomático profundo antes de o enxerto ser levantado com um cinzel (B). Imagens cedidas por (Leclercq et al., 2007).

Os fragmentos ósseos retirados são utilizados diretamente sob a forma de lamelas e são depois moldados e adaptados ao local recetor com discos de laboratório esterilizados e brocas de resina.

Em relação às sequelas pós-operatórias, estas são geralmente pouco dolorosas, permitindo que o paciente tenha alta rapidamente. Além disso, como o cabelo não é raspado durante a intervenção, não há cicatriz visível. No entanto, o local da cirurgia permanece potencialmente fragilizado, sendo aconselhado ao paciente evitar a prática de desportos que possam causar impactos nesta área. Durante a primeira semana, pode-se observar uma astenia significativa, que é um sintoma comum neste tipo de intervenção (Tulasne & Andreani, 2004; Leclercq et al., 2007).

A utilização do osso parietal como local dador para enxerto ósseo tem várias contra-indicações que devem ser levadas em conta para garantir a segurança do paciente. Em pacientes mais idosos, a colheita pode ser complicada pela ausência de espaço diploide ou de dura-máter fina, tornando o procedimento arriscado. Os doentes medicados com anticoagulantes ou com suspeita de lesões intracranianas devem também ser excluídos, pois o risco de hemorragia e de complicações neurológicas é elevado. Além disso, a avaliação por TC ou ressonância magnética (RM) pode revelar anormalidades, como espessura insuficiente do osso parietal (menor que 6 mm) ou ausência de diploe, inviabilizando a amostra. A presença de lacunas venosas ou de anomalias anatômicas identificadas durante estes exames também impede a colheita de osso parietal, uma vez que aumentam o risco de complicações. Finalmente, nos casos em que é necessário osso esponjoso para a reconstrução, o osso parietal não será adequado devido à sua estrutura predominantemente cortical (Haggerty, 2015).

3.7.3.3 Tíbia

Em 1992, Catone et al (citado em Herford & Dean, 2011) identificaram a tíbia proximal como uma fonte fiável de osso esponjoso para a reconstrução maxilar. A colheita é relativamente simples e pode ser efectuada em cirurgia ambulatória, diretamente no consultório.

A tíbia é um potencial sítio dador de enxertos ósseos, oferecendo uma quantidade significativa de enxerto cortico-esponjoso, geralmente entre 20 e 40 cm³.

A abordagem lateral é feita no tubérculo de Gerdy, um marco anatômico facilmente palpável localizado entre a tuberosidade da tíbia e a cabeça do perónio, sem estruturas superficiais vitais.

Também foi descrita uma abordagem medial. Herford & Dean (2011) compararam as duas abordagens e não encontraram diferenças estatisticamente significativas no volume de osso colhido. No entanto, observaram que a abordagem medial permitia o acesso ao osso mais próximo da pele e mais longe das estruturas vitais, em comparação com a abordagem lateral. As contra-indicações para a extração de osso da tíbia incluem:

- A necessidade de um enxerto ósseo em bloco
- Pacientes em período de crescimento
- História de traumatismo ou cirurgia ao joelho
- A presença de osteoartrite avançada (Herford & Dean, 2011).

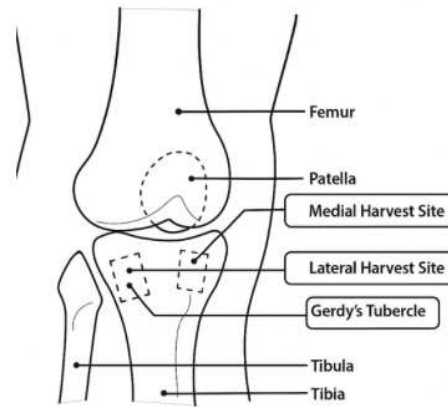


Figura 33. Estruturas anatómicas da tibia proximal. Adaptada de (Herford & Dean, 2011)

3.8 Complicações

O termo transplante é frequentemente associado à ideia de uma possível rejeição do tecido ou órgão transplantado. No entanto, este conceito de rejeição diz respeito principalmente aos aloenxertos, xenoenxertos e outros biomateriais estranhos ao recetor, que são naturalmente susceptíveis de rejeição. Um autoenxerto, por outro lado, deve integrar-se sem rejeição, desde que as condições locais e gerais sejam propícias a uma boa cicatrização. Se o autoenxerto falhar, tal não pode ser atribuído à natureza do enxerto em si, mas sim a outros fatores, como uma indicação incorrecta, uma reação adversa do doente (hematoma, infecção) ou uma técnica cirúrgica inadequada (Tulasne & Andreani, 2004).

O enxerto ósseo autógeno é um método comprovado e previsível de aumento do rebordo e reparação de defeitos antes da colocação de implantes dentários (Misch, 2015).

No entanto, é importante ressaltar que, como qualquer procedimento cirúrgico, os enxertos ósseos autógenos estão sujeitos a complicações (Darby et al., 2008) que surgem tanto durante o ato cirúrgico como durante as fases de cicatrização, quer sejam precoces ou tardias. Estas complicações podem afetar tanto a zona recetora como a zona dadora. (Bayram et al., 2024)

Os procedimentos de aumento do rebordo alveolar são especialmente sensíveis à técnica e às condições locais do paciente, sendo que os resultados dependem significativamente da experiência do operador (Misch, 2015).

Estas podem variar em natureza e gravidade, desde a exposição do biomaterial (membrana ou enxerto) até infecções pós-cirúrgicas, passando por perturbações neurosensoriais, hemorragias e dor (Sanz-Sánchez et al., 2022).

Um diagnóstico preciso, um planeamento cirúrgico rigoroso e uma execução meticulosa dos procedimentos podem evitar muitas das potenciais complicações associadas aos enxertos ósseos autógenos (Misch, 2015).

Por conseguinte, é essencial informar os doentes, antes da operação, sobre os riscos, as consequências pós-operatórias e as potenciais complicações, para que possam dar o seu consentimento com pleno conhecimento de causa. Esta transparência permite evitar a última complicação, ou seja, a insatisfação do doente.

3.8.1 Complicações pós-operatórias

3.8.1.1 Complicações imediatas

Complicações imediatas podem ocorrer entre 0-15 dias após o enxerto autógeno.

3.8.1.1.1 Hematomas

Um hematoma é uma acumulação de sangue extravasado num tecido, na sequência da rutura de vasos sanguíneos, que pode causar um inchaço localizado (Wedro, 2024).

Os hematomas são ainda mais frequentes e preocupantes quando existe um descolamento significativo da mucosa. Para prevenir os hematomas, é essencial utilizar uma sutura adequada para uma drenagem eficaz e aplicar um penso de pressão durante as primeiras 24 horas para limitar a acumulação de sangue. Estes podem ser identificados pela presença de uma tumefação firme ou endurecida que persiste após a diminuição do edema pós-operatório. Quando se forma um hematoma, a cicatriz deve ser ligeiramente aberta ao longo de 1 a 2 cm, sob anestesia local, para facilitar a evacuação dos coágulos. Se não for tratado, o hematoma pode evoluir para uma massa fibrosa, o que pode prejudicar a cicatrização e comprometer o resultado cirúrgico (Tulasne & Andreani, 2004). Pode ser evitada com a aplicação de agentes hemostáticos locais após a realização da colheita do enxerto ósseo (Misch, 2015).

3.8.1.1.2 Equimose

As Equimoses resultam de uma hemorragia subcutânea causada pela compressão ou esmagamento de um tecido, que danifica os vasos sanguíneos e leva a uma acumulação de sangue nas camadas mais profundas da pele (Ward et al., 2013).

Elas não requerem geralmente qualquer tratamento específico. Embora raras, podem, devido à sua extensão, atrasar a retoma da atividade social, constituindo assim uma complicação importante, nomeadamente nos doentes com capilares frágeis (Tulasne & Andreani, 2004).



Figura 34. Situação pós-operatória 7 dias após o procedimento de regeneração óssea no quadrante superior esquerdo. Nota-se uma equimose notável que se deslocou para o terço inferior da face. Imagem cedida por (Sanz-Sánchez et al., 2022).

3.8.1.1.3 Perturbações sensoriais

As complicações nervosas podem ocorrer tanto na mandíbula (nervos alveolar, mental, incisivo ou lingual) como na maxila (nervo infra-orbital). Estas lesões são geralmente devidas a um traumatismo direto do nervo, quer durante a incisão para descarregar a lâmina, quer durante a colheita do enxerto ósseo, quer durante a colocação do implante, quer durante o estiramento dos retalhos. Podem provocar uma disfunção nervosa temporária ou permanente, acompanhada de sintomas neurológicos. Para gerir estas complicações, estão disponíveis várias opções, como a remoção do implante se este estiver próximo do canal do nervo alveolar inferior, a administração de corticosteróides para reduzir a inflamação em casos de lesões nervosas graves e a prescrição de vitaminas B para acelerar a regeneração do nervo (Tulasne & Andreani, 2004; Sanz-Sánchez et al., 2022).

3.8.1.1.4 Exposição do enxerto

A complicação mais comum é a deiscência de tecidos moles, expondo o enxerto ósseo e/ou a membrana à contaminação, particularmente quando são utilizados onlays. Este facto prejudica normalmente a regeneração e conduz frequentemente à perda do enxerto (Mish, 2015; Sanz-Sánchez et al., 2022).

É frequentemente causada por necrose da mucosa, resultante da tensão excessiva aplicada durante o encerramento da ferida. Esta tensão prejudica a vascularização dos tecidos, o que pode levar à morte das células da mucosa e à abertura da linha de incisão, que expõe o enxerto (Tulasne & Andreani, 2004).

A revascularização do enxerto é essencial para a sua incorporação no local recetor. A exposição prematura do enxerto nas primeiras duas a três semanas pode levar à falência do enxerto (Mish, 2015).

Pode também dever-se a margens cicatriciais da mucosa, em que os bordos da ferida, mal preparados para a sutura, são constituídos por tecido cicatricial que é menos resistente e menos flexível. Por conseguinte, estes bordos podem separar-se mais facilmente (Tulasne & Andreani, 2004).

Finalmente, uma outra causa possível é a compressão excessiva dos tecidos devido ao uso prematuro de uma prótese adjuvante (como uma prótese dentária ou uma prótese provisória) demasiado cedo após a operação. O uso desta prótese, nomeadamente durante a noite, exerce pressão sobre os tecidos ainda frágeis, perturbando o processo de cicatrização e aumentando o risco de abertura da ferida (Tulasne & Andreani, 2004).

Os enxertos de osso esponjoso resistem melhor à exposição do que os enxertos corticais porque se revascularizam mais rapidamente (Mish, 2015).

3.8.1.2 Complicações secundarias

Complicações secundarias podem ocorrer entre 15-60 dias após o enxerto autógeno.

3.8.1.2.1 Infeções

As taxas de infecção pós-operatória após um enxerto ósseo, representa uma complicação significativa variam entre 2% e 11%. Esta taxa tende a aumentar quando o procedimento cirúrgico é mais complexo e exige maior precisão (Sanz-Sánchez et al., 2022).



Figura 35. *Presença de supuração na ausência de exposição aparente do enxerto dois meses após a intervenção cirúrgica. Imagem cedida por (Sanz-Sánchez et al., 2022).*

Os dois primeiros meses do pós-operatório constituem um período crítico durante o qual ocorre a cicatrização óssea. Ultrapassada esta fase inicial, ou seja, a partir do terceiro mês, a integração do enxerto autógeno está geralmente concluída, tornando o risco de infecção negligenciável.

A prevenção das infecções baseia-se numa antibioterapia sistemática, especialmente no caso de enxertos sinusais, bem como em lavagens nasais regulares com soro fisiológico durante os dois primeiros meses. Além disso, recomenda-se evitar viagens aéreas prolongadas neste período ou, caso sejam indispensáveis, adotar medidas profiláticas adicionais, como a reintrodução da antibioterapia, para minimizar os riscos de infecção.

Os sinais de infecção manifestam-se inicialmente por um edema jugal, que pode ser indolor ou ligeiramente doloroso à palpação, acompanhado de um aumento variável do volume vestibular. Na ausência de um tratamento adequado, esta inflamação pode evoluir para uma celulite, com risco de fistulização. No contexto de um enxerto ósseo do seio maxilar, a infecção pode propagar-se para o seio maxilar, resultando numa rinorreia purulenta, um sinal indicativo de infecção sinusal (Sanz-Sánchez et al., 2022).

3.8.1.3 Complicações tardias

3.8.1.3.1 Pseudoartrose

Entre as possíveis complicações tardias após um enxerto ósseo autógeno, a pseudoartrose desempenha um papel importante. Segundo Tulasne & Andreani (2004) esta não união parcial ou total do enxerto é muitas vezes clinicamente silenciosa, ou seja, não causa necessariamente qualquer dor ou sintomas óbvios. Pode resultar de uma preparação inadequada do local recetor, de um mau ajuste dos fragmentos ósseos ou de uma imobilização insuficiente do enxerto após a sua colocação.



Figura 36. Corte axial mostrando pseudoartrose de dois enxertos pré-maxilares cortico-esponjoso com exceção do bordo direito do enxerto de aposição no sector 1. Imagem cedida por (Tulasne & Andreani, 2004)

Em alguns casos, a pseudoartrose pode ser detectada através de uma TAC (**Fig. 36**) de acompanhamento, geralmente efectuada por volta do terceiro mês pós-operatório. A nível cirúrgico, a pseudoartrose manifesta-se por uma mobilidade anormal do enxerto, indicando uma falta de fusão óssea. Na prática, qualquer enxerto que não apresente sinais claros de integração com o local recetor deve ser removido ou substituído.

Esta complicação, embora invisível a olho nu ou inicialmente assintomática, pode comprometer o sucesso do procedimento cirúrgico e atrasar ou impedir a colocação do implante dentário. Sublinha a importância de um protocolo cirúrgico rigoroso, incluindo a estabilização perfeita do enxerto e um controlo radiológico cuidadoso.

3.8.1.3.2 Reabsorção

Em paralelo com a pseudoartrose, a reabsorção óssea também é uma complicação tardia comum nos enxertos ósseos autógenos. Esta reabsorção pode ser parcial ou mais acentuada, dependendo do tipo de osso enxertado. No caso do osso cortical, é comum uma perda de volume ósseo de 10 a 20 %, que começa geralmente por volta do quarto mês e se estabiliza pouco depois. Contudo, quando a reabsorção é mais significativa,

especialmente com enxertos realizados a partir de osso esponjoso (como o osso íliaco), pode comprometer não só a integração dos implantes, mas também a estética final da prótese. Tal reabsorção pode levar à necessidade de um enxerto complementar, o que exige acompanhamento rigoroso e informação prévia ao paciente (Tulasne & Andreani, 2004).

No passado, os enxertos autógenos retirados do ilíaco e das costelas eram frequentemente usados em cirurgias pré-protéticas, mas a falta de estimulação e a pressão da prótese causavam uma perda significativa do enxerto em pouco tempo. Isso gerou receios de que a reabsorção também ocorra nos aumentos ósseos para implantes (Misch, 2015).

A proteção do enxerto através do uso de membranas é uma técnica comum para limitar a reabsorção, nomeadamente pela ROG. No entanto, o uso de membranas não reabsorvíveis (como as de polytetrafluoroethylene ou titânio) apresenta riscos, especialmente o risco de infecção, caso a membrana fique exposta à cavidade bucal. Esta situação pode ocorrer caso haja falha na cicatrização dos tecidos moles, aumentando assim o risco de complicações. Além disso, estas membranas necessitam de ser removidas numa segunda intervenção cirúrgica, o que representa um inconveniente adicional para o paciente, além dos riscos associados a esse procedimento (Tulasne & Andreani, 2004).

Embora as membranas reabsorvíveis reduzam esses riscos infecciosos, a sua capacidade de manter o volume ósseo é inferior à das membranas não reabsorvíveis, especialmente em casos de reconstruções ósseas importantes (Tulasne & Andreani, 2004).

3.8.2 Complicações da zona dadora

A colheita de enxerto ósseo autógeno de locais intra-orais, embora geralmente menos arriscada do que a colheita de locais extra-orais, pode, no entanto, levar a certas complicações (Silva et al., 2006).

O estudo conduzido por Silva et al. (2006), revelou uma variação na taxa de complicações consoante o local dador. Os enxertos foram colhidos em 40% dos casos na sínfise mandibular, 28,8% no ramo mandibular e 31,2% na tuberosidade maxilar. As complicações pós-operatórias foram mais frequentes após a colheita na região da sínfise, nomeadamente alterações sensoriais no lábio inferior e na região mentoniana, registadas

em 16% dos casos. Também se observaram défices sensitivos em 8,3% das colheitas realizadas no ramo mandibular.

3.8.2.1 Símfise mandibular

A região do queixo está particularmente em risco: a remoção de osso desta área é suscetível de resultar em parestesia dos incisivos inferiores (Sanz-Sánchez et al., 2022).

A lesão do pedículo incisivo-canino é inevitável, a menos que a remoção óssea seja limitada à camada cortical. Entre 2% e 25% dos pacientes apresentam disestesia dos incisivos e caninos, que pode evoluir para hiperestesia ou hipoestesia (Tulasne & Andreani, 2004).

O aparecimento de parestesia na região labiomentoniana indica lesão do nervo do mento. Esta complicação pode ser evitada através de uma abordagem cirúrgica cuidadosa, destinada a proteger o nervo no seu ponto de emergência e a respeitar o seu trajeto intraósseo (Tulasne et Andreani, 2004).

Segundo Tulasne & Andreani (2004), o não cumprimento de uma distância mínima de 3 mm entre os ápices e as linhas de osteotomia pode levar a várias complicações:

- Necrose pulpar
- Discrômia dentária
- Lesões periapicais

3.8.2.2 Ramo mandibular

Embora o feixe neurovascular possa ser exposto, a colheita do enxerto geralmente não causa danos a essa estrutura. Distúrbios neurosensoriais após a colheita do enxerto do ramo são raros, e os pacientes não relatam dormência nos molares, ao contrário da colheita do queixo, que pode afetar a sensibilidade dos incisivos. O tratamento do edema e da dor no pós-operatório também é menos complexo. Em caso de trismo, são administrados tratamentos anti-inflamatórios e glucocorticoides. Por essas razões, o enxerto de ramo é frequentemente preferido devido à menor morbidade e complicações (Misch, 2015; McKenna et al., 2022).

Bayram et al. (2024) realizam um estudo que avaliou as complicações associadas à colheita do ramo mandibular no contexto do aumento ósseo autólogo, classificando-as em três fases: intraoperatória, pósoperatória precoce e pósoperatória tardia.

Fase intraoperatória:

17,14 % dos pacientes apresentaram visibilidade do nervo alveolar inferior, o que aumenta o risco de lesão nervosa.

O nervo lingual também pode estar em risco quando a colheita é feita no ramo mandibular, quer devido a um posicionamento inadequado da incisão, quer devido a uma retração agressiva do retalho lingual ou a uma lesão durante a sutura. Foram observadas fraturas graves e sangramentos em 8,57 % dos casos (Herford & Dean, 2011).

Existe também o risco de danificar as raízes dentárias se a colheita se estender aos molares, bem como o risco de trismo (Herford & Dean, 2011).

Fase pós-operatória precoce:

No pós-operatório precoce, as complicações mais frequentes foram a deiscência (22,86%) e a infecção (18,57%), seguidas das perturbações neurosensoriais (11,43%) e dos hematomas (7,14%).

Fase pós-operatória tardia:

As complicações tardias incluíram principalmente reabsorção óssea (78,57% menor, 21,43% maior), bem como casos de fratura do parafuso (7,14%), separação (15,71%) ou perda do enxerto (14,29%). Não foram registados problemas neurossensoriais ao fim de um ano, mas 17,14% dos doentes apresentavam problemas estéticos.

3.8.2.3 Tuberosidade maxilar

As complicações associadas a este local incluem a comunicação oro-antral (comunicação entre a cavidade oral e o seio maxilar) e a formação de hematoma devido à lesão do plexo venoso pterigoide (Herford & Dean, 2011).

3.8.2.4 Ilíaco

Embora a crista ilíaca seja o local de colheita mais utilizado, a morbidade continua a ser uma preocupação. Myeroff & Archdeacon (2011) classificaram as complicações em menores e maiores :

As complicações menores, como dor persistente, lesões superficiais dos nervos, hematomas, seromas e infecções, geralmente exigem pouco ou nenhum tratamento e não causam incapacidade a longo prazo. Embora raras, as lesões nervosas superficiais (nevralgias ou perturbações da sensibilidade) podem ocorrer, principalmente após a manipulação inadequada durante a colheita. Em geral, essas complicações são tratadas de forma conservadora.

Além disso, a dor persistente no local da colheita afeta entre 2,8% e 37,9% dos pacientes. Apesar das tentativas de tratamento com morfina ou bupivacaína, os resultados a longo prazo foram mistos. No entanto, a infusão contínua de bupivacaína mostrou reduzir a dor a curto prazo e melhorar a satisfação do paciente ao longo do tempo.

Por outro lado, as complicações maiores incluem hematomas profundos, hérnias, lesões neurológicas e vasculares, fraturas por avulsão da espinha ilíaca e infecções profundas. Para minimizar esse risco, recomenda-se que o local de colheita seja pelo menos 3 cm posterior à espinha ilíaca ântero-superior.

De acordo com Myeroff & Archdeacon (2011), complicações menores ocorreram em 7,1% a 39% dos casos, enquanto complicações maiores afetaram de 1,8% a 10% dos pacientes.

3.8.2.5 Osso parietal

Haggerty (2015) classificou as complicações associadas ao enxerto de osso parietal em diferentes categorias, de modo a compreender melhor os potenciais riscos e a garantir uma gestão adequada dos doentes.

Entre as complicações mais graves encontra-se a hemorragia do seio sagital superior, que pode provocar uma hemorragia maciça, défices neurológicos graves, aumento rápido da

pressão intracraniana, embolia gasosa e, em alguns casos, a morte. Esta complicação pode ser evitada mantendo uma distância de segurança de pelo menos 2 cm, idealmente 3 cm, da sutura sagital medial durante a osteotomia e utilizando osteótomos com muito cuidado.

Outra categoria de complicações diz respeito a lesões da dura-máter, como lacerações que podem levar a uma fuga ou fístula do líquido cefalorraquidiano. Estes incidentes podem conduzir a infeções graves, incluindo abscessos epidurais e meningite. Além disso, podem formar-se hematomas ou seromas subcutâneos, aumentando o risco de complicações pós-operatórias.

As lesões cerebrais subjacentes e os danos nos vasos cerebrais são também riscos importantes, que podem causar problemas neurológicos duradouros. Para além disso, a utilização de osteótomos pode provocar lesões cerebrais por golpe ou contragolpe, aumentando o risco de traumatismo craniano. Além disso, podem ocorrer fracturas do enxerto ósseo, comprometendo a integridade do osso removido.

Por fim, Haggerty (2015) salienta que a hemorragia intracraniana, como a hemorragia intraventricular, subdural ou epidural, é uma complicação temida deste procedimento. A tomada em consideração destes riscos e a aplicação de medidas preventivas adequadas são cruciais para garantir a segurança dos doentes durante o enxerto de osso parietal.

3.8.2.6 Tíbia

A colheita de osso da tíbia tem uma taxa de complicações relativamente baixa, estimada entre 1,3% e 3,8%, que é muito inferior à observada para a crista ilíaca. Os potenciais efeitos secundários incluem dor persistente, distúrbios da marcha, desunião da ferida, infeção (incluindo osteomielite), formação de hematoma ou seroma, parestesia, danos no espaço articular e mesmo fratura, embora até à data não tenham sido notificados casos de fratura da tíbia. Os riscos associados a este procedimento devem ser explicados de forma transparente ao doente, o consentimento informado é essencial (Herford & Dean, 2011).

III. CONCLUSÃO

A reabilitação oral com implantes estabeleceu-se como uma solução fiável e duradoura para o edentulismo, quer seja único ou completo. No entanto, não pode ser encarada sem uma abordagem rigorosa em que o projeto protético oriente a estratégia cirúrgica. Uma avaliação clínica completa, incluindo uma avaliação tridimensional precisa do local do implante, é, portanto, essencial para estabelecer um plano de tratamento coerente, incluindo, se necessário, uma cirurgia prévia de aumento ósseo.

Entre as técnicas disponíveis, o enxerto ósseo autógeno continua a ser uma opção comprovada, oferecendo excelentes resultados no aumento do volume ósseo. No entanto, esta solução não é isenta de constrangimentos: complexidade cirúrgica, elevada exigência clínica, custo financeiro considerável e necessidade de um paciente bem informado, motivado e que compreenda as questões terapêuticas. Estas limitações têm levado os profissionais a explorar alternativas menos invasivas e a incorporar novos biomateriais ou técnicas com o objetivo de simplificar os protocolos, reduzir a morbilidade pós-operatória e melhorar a cicatrização.

Apesar dos progressos registados, a escolha do método de reconstrução deve continuar a basear-se em critérios científicos sólidos, efectuados por profissionais experientes num quadro estrito de assepsia e de acordo com uma avaliação rigorosa do risco/benefício. Só uma abordagem deste tipo pode garantir o sucesso e a longevidade do tratamento com implantes.

IV. BIBLIOGRAFIA

1. Abd Wahab, M. A., et al. (2022). Peri-implant bone healing: Its basic osteogenesis and biomarkers. *Malaysian Journal of Medicine and Health Sciences*, 18(6), 324–331. <https://doi.org/10.47836/mjmhs.18.6.41>
2. Albrektsson, T., & Johansson, C. (2001). Osteoinduction, osteoconduction and osseointegration. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 10 Suppl 2(Suppl 2), S96–S101. <https://doi.org/10.1007/s005860100282>
3. Alghamdi H. S. (2018). Methods to Improve Osseointegration of Dental Implants in Low Quality (Type-IV) Bone: An Overview. *Journal of functional biomaterials*, 9(1), 7. <https://doi.org/10.3390/jfb9010007>
4. Allen, E. P. et al. (1985). Improved technique for localized ridge augmentation: A report of 21 cases. *Journal of Periodontology*, 56(4), 195–199. <https://doi.org/10.1902/jop.1985.56.4.195>
5. Amini, A. R., Laurencin, C. T., & Nukavarapu, S. P. (2013). Bone tissue engineering: recent advances and challenges. *Critical reviews in biomedical engineering*, 40(5), 363–408. <https://doi.org/10.1615/critrevbiomedeng.v40.i5.10>
6. Angonèse, A. et al. (2010). Fracture ou os pariétal bipartite ? [Skull fracture or bipartite parietal bone]. *Archives de pediatrie : organe officiel de la Societe francaise de pediatrie*, 17(4), 391–393. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2010.01.009>
7. Bali, Y., et al. (2021). Bone Graft and Intraosseous Anchorage of Dental Implants for Reconstruction of the Residual Alveolar Ridge. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 13(Suppl 1), S465–S468. https://doi.org/10.4103/jpbs.JPBS_638_20
8. Baig, M. A., & Bacha, D. (2023). Histology, Bone. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
9. Barausse, C., et al. (2025). The Inlay Technique in Alveolar Ridge Augmentation: A Systematic Review. *Journal of clinical medicine*, 14(5), 1684. <https://doi.org/10.3390/jcm14051684>

10. Bayram, F., Göçmen, G., & Özkan, Y. (2024). Evaluating risk factors and complications in mandibular ramus block grafting: a retrospective cohort study. *Clinical oral investigations*, 28(4), 226. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05613-6>
11. Ben Kahla, R., & Barkaoui, A. (2021). Bone multiscale mechanics. In *Bone remodeling process: Mechanics, biology, and numerical modeling* (Chapter 1, pp. 1–47). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88467-9.00005-9>
12. Bert, M. (2021a). L'os : composition, vascularisation, innervation. Dans *Implantologie : bases fondamentales, conséquences cliniques* (chap. 1). Parresia / Dentaire365.
13. Bert, M. (2021b). L'os : remaniement et cicatrisation. Dans *Implantologie : bases fondamentales, conséquences cliniques* (chap. 2). Parresia / Dentaire365.
14. Bodic, F., et al. (2004). Perte osseuse et dents [Bone loss and teeth]. *Revue du Rhumatisme*, 72(5), 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.rhum.2004.03.016>
15. Brånemark PI., et al. (1975). Reconstruction of the defective mandible. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1975;9(2):116-28. doi: 10.3109/02844317509022776. PMID: 1103278.
16. Brum, I. D. S., et al. (2024). Comparison Between Nano-Hydroxyapatite/Beta-Tricalcium Phosphate Composite and Autogenous Bone Graft in Bone Regeneration Applications: Biochemical Mechanisms and Morphological Analysis. *International journal of molecular sciences*, 26(1), 52. <https://doi.org/10.3390/ijms26010052>
17. Budihardja, A. S. (2019). Mandibular bone graft. In A. Budihardja & T. Mücke (Eds.), *Bone management in dental implantology* (pp. 23–39). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78951-4_2
18. Burdurlu, C., et al. (2019). The evaluation of acquired bone volume with onlay block grafting by dental volumetric tomography. *Yeditepe Dental Journal*. 15. 317-321. 10.5505/yeditepe.2019.03016.
19. Caplan A. I. (1991). Mesenchymal stem cells. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society*, 9(5), 641–650. <https://doi.org/10.1002/jor.1100090504>

20. Carleto Andia, D. C., Cerri, P. S., & Spolidorio, L. C. (2006). *Tecido ósseo: aspectos morfológicos e histofisiológicos* [Bone tissue: Morphological and histophysiological aspects]. *Revista Odontológica da UNESP*, 35(2), 191–198.
21. Cawood, J. I., & Howell, R. A. (1988). A classification of the edentulous jaws. *International journal of oral and maxillofacial surgery*, 17(4), 232–236. [https://doi.org/10.1016/s0901-5027\(88\)80047-x](https://doi.org/10.1016/s0901-5027(88)80047-x)
22. Chan, Y. S., et al. (2000). Antibiotic-impregnated autogenic cancellous bone grafting is an effective and safe method for the management of small infected tibial defects: a comparison study. *The Journal of trauma*, 48(2), 246–255. <https://doi.org/10.1097/00005373-200002000-00009>
23. Chu, T. M. G., Liu, S. S. Y., & Babler, W. J. (2013). Craniofacial Biology, Orthodontics, and Implants. In *Basic and Applied Bone Biology* (pp. 225–242). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416015-6.00011-3>
24. Cığirim, L., et al. (2023). Evaluation of implant survival in grafted and ungrafted bone: A 5-year follow-up study. *Advanced Journal of Clinical Sciences*. <http://doi.org/10.54617/adoklinikbilimler.1331015>
25. Ciszynski, M., et al. (2023). Allogenic Bone Graft in Dentistry: A Review of Current Trends and Developments. *International journal of molecular sciences*, 24(23), 16598. <https://doi.org/10.3390/ijms242316598>
26. Cohen-Solal, M., & de Vernejoul, M. C. (2003). Remodelage osseux [Bone remodeling]. *Therapie*, 58(5), 391–393. <https://doi.org/10.2515/therapie:2003063>
27. Collins, C. J., et al. (2019). Bone micro- and nanomechanics. In *Encyclopedia of Biomedical Engineering* (Vols. 1–3, pp. 22–44). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.99937-9>
28. Darby, I., Chen, S., & De Poi, R. (2008). Ridge preservation: what is it and when should it be considered. *Australian dental journal*, 53(1), 11–21. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2007.00008.x>
29. Desoutter, J., et al. (2012). Le remodelage osseux normal et pathologique [Physiological and pathological bone remodelling]. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2012(446), 33–42. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(12\)71733-1](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(12)71733-1)

30. Farith, M. N., Sadhana, K. R., & Nandini, V. V. (2024). The prevalence of alveolar ridge defects according to Seibert's classification: A cross-sectional study. *Cureus*, *16*(12), e75602. <https://doi.org/10.7759/cureus.75602>
31. Ferraz M. P. (2023). Bone Grafts in Dental Medicine: An Overview of Autografts, Allografts and Synthetic Materials. *Materials (Basel, Switzerland)*, *16*(11), 4117. <https://doi.org/10.3390/ma16114117>
32. Giannoudis, P. V., Dinopoulos, H., & Tsiridis, E. (2005). Bone substitutes: an update. *Injury*, *36 Suppl 3*, S20–S27. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2005.07.029>
33. Gillman, C. E., & Jayasuriya, A. C. (2021). FDA-approved bone grafts and bone graft substitute devices in bone regeneration. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, *130*, 112466. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112466>
34. Grgurevic, L., Pecina, M., & Vukicevic, S. (2017). Marshall R. Urist and the discovery of bone morphogenetic proteins. *International orthopaedics*, *41*(5), 1065–1069. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3402-9>
35. Guglielmotti, M. B., Olmedo, D. G., & Cabrini, R. L. (2019). Research on implants and osseointegration. *Periodontology 2000*, *79*(1), 178–189. <https://doi.org/10.1111/prd.12254>
36. Guillaume B. (2016). Dental implants: A review. *Morphologie : bulletin de l'Association des anatomistes*, *100*(331), 189–198. DOI: 10.1016/j.morpho.2016.02.002
37. Haggerty, C. J. (2015). Parietal bone graft. In C. J. Haggerty & R. M. Laughlin (Eds.), *Atlas of operative oral and maxillofacial surgery* (pp. 489–494). John Wiley & Sons.
38. Hannink, G., & Arts, J. J. (2011). Bioresorbability, porosity and mechanical strength of bone substitutes: what is optimal for bone regeneration? *Injury*, *42 Suppl 2*, S22–S25. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.06.008>
39. Hart, N. H., et al. (2020). Biological basis of bone strength: anatomy, physiology and measurement. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions*, *20*(3), 347–371.
40. Haugen, H. J., et al. (2019). Bone grafts: which is the ideal biomaterial?. *Journal of clinical periodontology*, *46 Suppl 21*, 92–102. <https://doi.org/10.1111/jcpe.13058>

41. Herford, A. S., & Dean, J. S. (2011). Complications in bone grafting. *Oral and maxillofacial surgery clinics of North America*, 23(3), 433–442. <https://doi.org/10.1016/j.coms.2011.04.004>
42. Jaffin, R. A., & Berman, C. L. (1991). The excessive loss of Branemark fixtures in type IV bone: a 5-year analysis. *Journal of periodontology*, 62(1), 2–4. <https://doi.org/10.1902/jop.1991.62.1.2>
43. Janicki, P., & Schmidmaier, G. (2011). What should be the characteristics of the ideal bone graft substitute? Combining scaffolds with growth factors and/or stem cells. *Injury*, 42 Suppl 2, S77–S81. DOI: 10.1016/j.injury.2011.06.014
44. Jordana, F., Le Visage, C., & Weiss, P. (2017). Substituts osseux [Bone substitutes]. *Médecine/Sciences (Paris)*, 33(1), 60–65. DOI: 10.1051/medsci/20173301010
45. Jun, J. H., Peacock, Z., & Pogrel, M. A. (2010). Alveolar ridge augmentation using lingual tori. *Journal of oral and maxillofacial surgery: official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons*, 68(11), 2906–2908. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2010.05.063>
46. Juodzbaly, G., & Kubilius, M. (2013). Clinical and radiological classification of the jawbone anatomy in endosseous dental implant treatment. *Journal of oral & maxillofacial research*, 4(2), e2. <https://doi.org/10.5037/jomr.2013.4202>
47. Kalsi, A. S., Kalsi, J. S., & Bassi, S. (2019). Alveolar ridge preservation: why, when and how. *British dental journal*, 227(4), 264–274. <https://doi.org/10.1038/s41415-019-0647-2>
48. Karbalaiekhani, A., Mehrabi, A., & Saied, A. R. (2021). Bone grafting surgery: A detailed review of history. *Journal of Research in Orthopedic Science*, 8(4), 171–176. <http://dx.doi.org/10.32598/JROSJ.8.4.109.2>
49. Kini, U., Nandeesh, B.N. (2012). Physiology of Bone Formation, Remodeling, and Metabolism. In: Fogelman, I., Gnanasegaran, G., van der Wall, H. (eds) *Radionuclide and Hybrid Bone Imaging*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02400-9_2
50. Leclercq P., et al. (2007). Greffes osseuses préimplantaires d'origine pariétal : procédures chirurgicales et stratégies prothétiques. EMC (Elsevier Masson SAS, Paris), Odontologie, 23-330-A-12,2007.

51. Lin, X. et al. (2020). The Bone Extracellular Matrix in Bone Formation and Regeneration. *Frontiers in pharmacology*, 11, 757. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00757>
52. Marx, R. E., & Garg, A. K. (1998). Bone structure, metabolism, and physiology: its impact on dental implantology. *Implant dentistry*, 7(4), 267–276. <https://doi.org/10.1097/00008505-199807040-00004>
53. Maus, U. et al. (2008). How to store autologous bone graft perioperatively: an in vitro study. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 128(9), 1007–1011. <https://doi.org/10.1007/s00402-008-0616-8>
54. McKenna, G. J., et al. (2022). Effect of autogenous bone graft site on dental implant survival and donor site complications: a systematic review and meta-analysis. *The journal of evidence-based dental practice*, 22(3), 101731. <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2022.101731>
55. Miron R. J. (2024). Optimized bone grafting. *Periodontology 2000*, 94(1), 143–160. <https://doi.org/10.1111/prd.12517>
56. Misch, C. M. (2015). Complications of autogenous bone grafting. In S. J. Froum (Ed.), *Dental implant complications: Etiology, prevention, and treatment* (Chap. 16). Wiley-Blackwell.
57. Misch, C. E., & Dietsch, F. (1993). Bone-grafting materials in implant dentistry. *Implant dentistry*, 2(3), 158–167. DOI: 10.1097/00008505-199309000-00003
58. Miyamoto, I., et al. (2005). Influence of cortical bone thickness and implant length on implant stability at the time of surgery--clinical, prospective, biomechanical, and imaging study. *Bone*, 37(6), 776–780. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2005.06.019>
59. Myeroff, C., & Archdeacon, M. (2011). Autogenous bone graft: donor sites and techniques. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 93(23), 2227–2236. <https://doi.org/10.2106/JBJS.J.01513>
60. Nazirkar, G., et al. (2014). Effortless effort in bone regeneration: a review. *Journal of international oral health : JIOH*, 6(3), 120–124.
61. Pape, H. C., Evans, A., & Kobbe, P. (2010). Autologous bone graft: properties and techniques. *Journal of orthopaedic trauma*, 24 Suppl 1, S36–S40. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181cec4a1>

62. Parithimarkalaignan, S., & Padmanabhan, T. V. (2013). Osseointegration: an update. *Journal of Indian Prosthodontic Society*, 13(1), 2–6. <https://doi.org/10.1007/s13191-013-0252-z>
63. Quisiguiña Salem, C., et al. (2023). Alveolar ridge preservation: A review of concepts and controversies. *National journal of maxillofacial surgery*, 14(2), 167–176. https://doi.org/10.4103/njms.njms_224_22
64. Raghoobar, G. M., et al. (2001). Morbidity of chin bone harvesting. *Clinical oral implants research*, 12(5), 503–507. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0501.2001.120511.x>
65. Ramalingam, S., et al. (2020). Alveolar bone science: Structural characteristics and pathological changes. In *Dental Implants and Bone Grafts: Materials and Biological Issues* (pp. 1–22). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102478-2.00001-5>
66. Sakkas, A., et al. (2017). Autogenous bone grafts in oral implantology-is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *International journal of implant dentistry*, 3(1), 23. <https://doi.org/10.1186/s40729-017-0084-4>
67. Sanz-Sánchez, I., et al. (2022). Complications in bone-grafting procedures: Classification and management. *Periodontology 2000*, 88(1), 86–102. DOI: 10.1111/prd.12413
68. Schmidt A. H. (2021). Autologous bone graft: Is it still the gold standard?. *Injury*, 52 Suppl 2, S18–S22. DOI: 10.1016/j.injury.2021.01.043
69. Schwartz-Arad, D., et al. (2014). Long Term Follow-Up of Dental Implants Placed in Autologous Onlay Bone Graft. *Clinical implant dentistry and related research*, 18(3), 449–461. <https://doi.org/10.1111/cid.12288>
70. Seban A, Arslan S, Robin-Prevallee V. Chapitre 1: Introduction aux greffes osseuses à visée implantaire. In: *Greffes Osseuses et Implants*. France: Elsevier - Health Sciences Division; 2011.
71. Seban, A., & Bonnaud, P. (2012). Chapitre 3 – Traitement des insuffisances osseuses à visée implantaire. In *Pratique clinique des greffes osseuses et implants: Modalités thérapeutiques et prise en charge des complications* (pp. 77–155). Elsevier Masson. Doi: 10.1016/B978-2-294-71013-1.00003-6

72. Sharma, J., & Heagerty, R. (2017). Stress fracture: A review of the pathophysiology, epidemiology and management options. *Journal of Fractures and Sprains*, 1(1), 1006.
73. Siddiqui, J. A., & Partridge, N. C. (2016). Physiological Bone Remodeling: Systemic Regulation and Growth Factor Involvement. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 31(3), 233–245. <https://doi.org/10.1152/physiol.00061.2014>
74. Sikkou, K., et al. (2016). Prévenir la résorption osseuse pour une meilleure intégration des réhabilitations prothétiques amovibles complètes [Prevent the osseous resorption for a better integration of the complete removable prosthetic rehabilitations]. *Actualités Odonto-Stomatologiques*, (280). <https://doi.org/10.1051/aos/2016072>
75. Silva, F. M., et al. (2006). Complications of intraoral donor site for bone grafting prior to implant placement. *Implant dentistry*, 15(4), 420–426. DOI: 10.1097/01.id.0000246225.51298.67
76. Skondras, G., et al. (2016). Pre-implant surgery: comparative evaluation of inlay and onlay bone grafts. *Hellenic Archives of Oral & Maxillofacial Surgery*. 17. 143-156.
77. Sobolik, C. F. (1960). *Alveolar bone resorption*. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 10(4), 612–619. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(60\)90240-7](https://doi.org/10.1016/0022-3913(60)90240-7)
78. Sodek, J., & McKee, M. D. (2000). Molecular and cellular biology of alveolar bone. *Periodontology* 2000, 24, 99–126. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0757.2000.2240106.x>
79. Sohn, H. S., & Oh, J. K. (2019). Review of bone graft and bone substitutes with an emphasis on fracture surgeries. *Biomaterials research*, 23, 9. <https://doi.org/10.1186/s40824-019-0157-y>
80. Sparks, D. S., Wagels, M., & Taylor, G. I. (2018). Bone reconstruction: A history of vascularized bone transfer. *Microsurgery*, 38(1), 7–13. <https://doi.org/10.1002/micr.30260>
81. Suchetha A., et al. (2017). Alveolar bone in health. *Revista de Odontologia Da UNESP.*, 35(2), 112.
82. Tlili, M., et al. (2023). Symphysial appositional graft to restore the upper central incisor site: A case report. *Acta Scientific Dental Sciences*, 7(11)
83. Toppets V., et al. (2004). *Morphologie, croissance et remaniement du tissu osseux*. 1–13.

84. Tsuchida, S., & Nakayama, T. (2023). Recent Clinical Treatment and Basic Research on the Alveolar Bone. *Biomedicines*, *11*(3), 843. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11030843>
85. Tulasne, J.-F., & Andreani, J.-F. (2005). Les greffes osseuses en implantologie. *Quintessence Internationale*
86. Ulm, C., et al. (2022). Improved access to the bone marrow space by multiple perforations of the alveolar bundle bone after tooth extraction-A case report. *Clinical and experimental dental research*, *8*(1), 3–8. <https://doi.org/10.1002/cre2.474>
87. Vijayalekha, A., Anandasadagopan, S. K., & Pandurangan, A. K. (2023). An overview of collagen-based composite scaffold for bone tissue engineering. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04318-y>
88. Wadhvani, V., Saini, A., & Rajaraman, V. (2021). Revisiting bone density: A review on Misch classification. *International Journal of Prosthodontic Rehabilitation*, *2*(1), 4–7.
89. Wang, S. H., et al. (2023). New classification for bone type at dental implant sites: a dental computed tomography study. *BMC oral health*, *23*(1), 324. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03039-2>
90. Ward, M. G. K., et al. (2013). L'évaluation médicale des ecchymoses dans les cas de maltraitance présumée d'enfants : une perspective clinique. *Paediatrics & Child Health*, *18*(8), 438–442.
91. Weatherholt, A. M., Fuchs, R. K., & Warden, S. J. (2012). Specialized connective tissue: bone, the structural framework of the upper extremity. *Journal of hand therapy: official journal of the American Society of Hand Therapists*, *25*(2), 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2011.08.003>
92. Wedro, B. (2024, 7 mai). Hematoma: Meaning, types, pictures, symptoms, treatment. *MedicineNet*.
93. Wickramasinghe, M. L., Dias, G. J., & Premadasa, K. M. G. P. (2022). A novel classification of bone graft materials. *Journal of biomedical materials research. Part B, Applied biomaterials*, *110*(7), 1724–1749. DOI: 10.1002/jbm.b.35029
94. Widiastri, M., et al. (2023). Alveolar bone quality classification from dental cone beam computed tomography images using YOLOv4-tiny. In M. Hartono et al. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Conference on Informatics*,

Technology and Engineering 2023 (InCITE 2023), Atlantis Highlights in Engineering (Vol. 21). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-288-0_48

95. Yang, M., & Wessel, J. (2017). The deficient alveolar ridge: Classification and augmentation considerations for implant placement. *Clinical Update*, 39(1).
96. Younger EM, Chapman MW. Morbidity at bone graft donor sites. *J Orthop Trauma*. 1989;3(3):192-5. doi: 10.1097/00005131-198909000-00002. PMID: 2809818.
97. Zhang, J., et al. (2024). Clinical guidelines for indications, techniques, and complications of autogenous bone grafting. *Chinese medical journal*, 137(1), 5–7. <https://doi.org/10.1097/CM9.0000000000002691>
98. Zhao, R., et al. (2021). Bone Grafts and Substitutes in Dentistry: A Review of Current Trends and Developments. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(10), 3007. DOI: 10.3390/molecules26103007