

Extração e caracterização da membrana de colágeno Bovino Tipo I para Reconstituição Óssea Guiada

Extraction and characterization of bovine collagen Type I Membrane for Guided bone Reconstitution

Extracción y caracterización de membrana de colágeno bovino Tipo I para Reconstitución Óssea Guiada

DOI: 10.55905/asuscv3n1-001

Recebido: 07/25/2025

Aceito: 08/22/2025

Sandrielle Bredun Zattoni Biz¹
Beatriz Essenfelder Borges²

RESUMO

A pecuária de corte exerce papel estratégico na economia brasileira, mas gera expressivo volume de resíduos que podem ser aproveitados de forma sustentável. Entre esses subprodutos, destaca-se o colágeno bovino tipo I, especialmente obtido de tendões, que apresenta propriedades estruturais, biológicas e funcionais relevantes para o desenvolvimento de biomateriais em saúde. O objetivo deste estudo foi analisar, por meio de revisão integrativa, os métodos de extração, as técnicas de caracterização físico-química e as aplicações clínicas do colágeno tipo I obtido de tendões bovinos. A metodologia seguiu seis etapas sistemáticas de busca e seleção, resultando na análise de 18 artigos publicados entre 2006 e 2024. Os resultados evidenciaram protocolos de extração baseados em tratamento enzimático e liofilização, aliados a técnicas de caracterização como microscopia eletrônica de varredura e testes de citotoxicidade. A discussão aponta que as membranas de colágeno oferecem vantagens clínicas por sua biocompatibilidade, reabsorção natural e eficiência na neoformação óssea, evitando cirurgias adicionais. Além disso, ressalta-se a importância da atuação multidisciplinar, em especial do farmacêutico, no desenvolvimento, aprimoramento tecnológico e segurança desses biomateriais. Conclui-se que o aproveitamento sustentável de tendões bovinos para obtenção de colágeno tipo I representa alternativa promissora, unindo inovação em saúde, valorização de subprodutos da pecuária e práticas de economia circular.

Palavras-chave: colágeno bovino, colágeno tipo I, membranas reabsorvíveis, regeneração tecidual guiada, biocompatibilidade, biomateriais.

ABSTRACT

Beef cattle farming plays a strategic role in the Brazilian economy but generates a significant volume of waste that can be used sustainably. Among these by-products, type I bovine collagen, obtained especially from tendons, stands out for its structural, biological, and functional properties relevant to the development of biomaterials in healthcare. The

¹ Graduanda em Farmácia Generalista pelo Centro Universitário Santa Cruz.

E-mail: s_bz.biz@outlook.com

² Professora, Doutora, Orientadora do Centro Universitário Santa Cruz.

E-mail: beatriz.borges@unisantacruz.edu.br

objective of this study was to analyze, through an integrative review, the extraction methods, physical-chemical characterization techniques, and clinical applications of type I collagen obtained from bovine tendons. The methodology followed six systematic search and selection steps, resulting in the analysis of 18 articles published between 2006 and 2024. The results showed extraction protocols based on enzymatic treatment and lyophilization, combined with characterization techniques such as scanning electron microscopy and cytotoxicity tests. The discussion points out that collagen membranes offer clinical advantages due to their biocompatibility, natural resorption, and efficiency in bone neoformation, avoiding additional surgeries. In addition, the importance of multidisciplinary action, especially by pharmacists, in the development, technological improvement, and safety of these biomaterials is emphasized. It is concluded that the sustainable use of bovine tendons to obtain type I collagen represents a promising alternative, combining innovation in health, valorization of livestock by-products, and circular economy practices.

Keywords: bovine collagen, type I collagen, resorbable membranes, guided tissue regeneration, biocompatibility, biomaterials.

RESUMEN

La ganadería de carne desempeña un papel estratégico en la economía brasileña, pero genera un volumen significativo de residuos que pueden aprovecharse de manera sostenible. Entre estos subproductos, se destaca el colágeno bovino tipo I, especialmente obtenido de tendones, que presenta propiedades estructurales, biológicas y funcionales relevantes para el desarrollo de biomateriales en salud. El objetivo de este estudio fue analizar, mediante una revisión integrativa, los métodos de extracción, las técnicas de caracterización fisicoquímica y las aplicaciones clínicas del colágeno tipo I obtenido de tendones bovinos. La metodología siguió seis etapas sistemáticas de búsqueda y selección, resultando en el análisis de 18 artículos publicados entre 2006 y 2024. Los resultados evidenciaron protocolos de extracción basados en tratamiento enzimático y liofilización, junto con técnicas de caracterización como microscopía electrónica de barrido y ensayos de citotoxicidad. La discusión señala que las membranas de colágeno ofrecen ventajas clínicas por su biocompatibilidad, reabsorción natural y eficiencia en la neoformación ósea, evitando cirugías adicionales. Además, se resalta la importancia de la actuación multidisciplinaria, en especial del farmacéutico, en el desarrollo, perfeccionamiento tecnológico y seguridad de estos biomateriales. Se concluye que el aprovechamiento sostenible de tendones bovinos para la obtención de colágeno tipo I representa una alternativa prometedora, que une innovación en salud, valorización de subproductos de la ganadería y prácticas de economía circular.

Palabras clave: colágeno bovino, colágeno tipo I, membranas reabsorbibles, regeneración tisular guiada, biocompatibilidad, biomateriales.

1 INTRODUÇÃO

A pecuária de corte é uma das atividades mais relevantes da economia brasileira, responsável por movimentar aproximadamente R\$ 913,14 bilhões em 2021, dos quais R\$ 12.252,2 milhões foram provenientes da comercialização de subprodutos (ABIEC, 2022). O volume expressivo de resíduos gerados neste setor levanta a necessidade de alternativas de aproveitamento sustentável, alinhadas às práticas de economia circular. Nesse contexto, o colágeno bovino tipo I, extraído principalmente de tendões como o de Aquiles, desponta como um insumo estratégico para o desenvolvimento de biomateriais utilizados na saúde.

O colágeno é a proteína mais abundante em mamíferos, sendo fundamental para a manutenção da estrutura e integridade dos tecidos conjuntivos. Sua versatilidade permite aplicações diversas, desde a indústria alimentícia até a engenharia de tecidos, onde se destaca pela biocompatibilidade, biodegradabilidade e capacidade de atuar como matriz para regeneração (DUARTE, 2011; BLUM *et al.*, 2011).

Em odontologia, seu emprego em membranas de colágeno reabsorvíveis revolucionou procedimentos de Regeneração Óssea Guiada (ROG), técnica introduzida por Dahlin em 1988, que consiste na utilização de barreiras mecânicas para estimular a neoformação óssea e prevenir a invasão de células epiteliais no sítio da lesão (CABRAL, 2016).

A utilização de colágeno bovino tipo I extraído de tendões, portanto, alia sustentabilidade ao reaproveitar resíduos da pecuária e inovação tecnológica no desenvolvimento de biomateriais aplicados à saúde.

Esta revisão integrativa busca reunir, analisar e sintetizar as evidências científicas mais relevantes sobre os métodos de extração, caracterização físico-química e aplicações clínicas desse biomaterial, com ênfase em membranas para ROG e no papel do farmacêutico no aprimoramento dessa tecnologia.

2 METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido como uma revisão integrativa, cujo objetivo é avaliar e sintetizar resultados de pesquisas publicadas, conforme orientado por Mendes, Silveira e Galvão (2008). Para a realização da pesquisa, foi adotado o levantamento bibliográfico

em seis etapas metodológicas, estabelecendo critérios rigorosos para inclusão e exclusão de artigos, definição de estratégias de busca e extração de dados dos artigos selecionados.

Etapa 1: Escolha do Tema: Essa etapa envolveu a escolha do tema “a utilização do colágeno bovino, especialmente extraído do tendão de Aquiles, na fabricação de membranas reabsorvíveis para aplicação na técnica de Regeneração Óssea Guiada (ROG), com foco na valorização de subprodutos da pecuária e na participação do farmacêutico no desenvolvimento desses biomateriais”, definida após uma análise preliminar da literatura e leitura exploratória sobre o tópico.

Etapa 2: Busca de Artigos: Foram realizadas buscas nas bases de dados PubMed, Biblioteca Virtual de Saúde (BVS), SciELO e Google Acadêmico, utilizando descritores em português e inglês, combinados com operadores booleanos (AND e OR), “Colágeno Tipo I” / “Type I Collagen”; “Membrana reabsorvível” / “Resorbable membrane”; “Regeneração óssea guiada” / “Guided bone regeneration”; “Tendão bovino” / “Bovine tendon”; “Biocompatibilidade” / “Biocompatibility”. Foram aplicados os seguintes critérios de inclusão: artigos originais, escritos em português, inglês ou espanhol, disponíveis na íntegra de forma gratuita, publicados entre 2006 a 2024, com foco em extração, caracterização físico-química ou aplicação clínica de colágeno Tipo I de origem bovina. Como critérios de exclusão, foram considerados: capítulos de livros, livros completos, artigos duplicados. Esse levantamento inicial resultou em 38 publicações: 7 no PubMed, 3 na BVS, 8 na MDPI, 5 na SciELO e 15 no Google Acadêmico.

Etapa 3: Seleção Inicial por Título: Procedeu-se à leitura dos títulos dos artigos selecionados. Foram removidos 5 artigos que, a partir do título, não demonstravam relação com o tema proposto ou não atendiam aos critérios de inclusão, e 2 artigos descartados por duplicidade. Ao final dessa etapa, 31 artigos foram selecionados por sua relevância potencial ao tema.

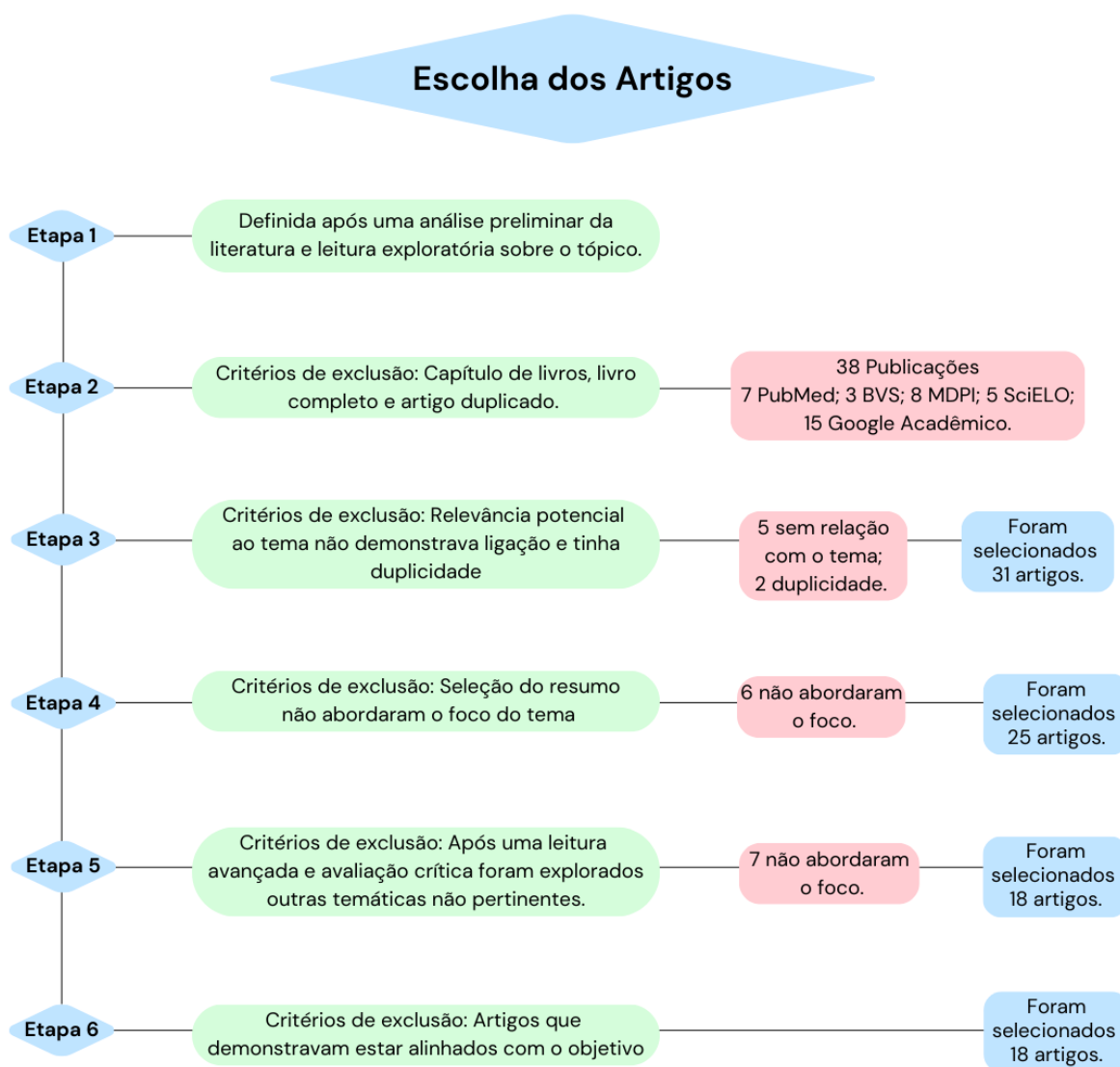
Etapa 4: Seleção por Resumo: A quarta etapa consistiu na leitura dos resumos dos 31 artigos previamente selecionados. Com base nos critérios de inclusão, 25 artigos foram considerados pertinentes para a próxima etapa, enquanto 6 foram descartados por não abordarem o foco imunológico ou por tratarem exclusivamente da toxicidade do glifosato.

Etapa 5: Leitura Integral e Avaliação Crítica: Nessa etapa, foi realizada uma leitura integral dos 25 artigos remanescentes. Desses, 7 foram excluídos por não atenderem ao foco da revisão ou por explorarem outras temáticas não pertinentes aos critérios estabelecidos, não respondendo o objetivo.

Etapa 6: Síntese Final dos Dados: A última etapa incluiu a leitura completa e detalhada dos 18 artigos selecionados, que se mostraram alinhados com o objetivo da pesquisa e atenderam a todos os critérios de inclusão previamente definidos.

Essa sequência metodológica garantiu a seleção criteriosa dos artigos mais relevantes, permitindo uma síntese confiável e relevante para o objetivo deste estudo, como mostrado no fluxograma 1.

Fluxograma 1: Escolhas dos artigos



Fonte: Autora, 2025

3 RESULTADOS

A partir dos artigos analisados iniciou-se a revisão com o propósito de identificar os principais métodos de extração, as propriedades físico-químicas e as aplicações em membranas reabsorvíveis utilizadas na técnica de Regeneração Óssea Guiada (ROG).

Para auxiliar a discussão do trabalho foi construído um quadro de categorização dos artigos selecionados (Quadro 1). O mesmo contém a distribuição dos estudos de acordo com o ano de publicação, autor, título e desfecho, no qual se apresenta uma síntese das informações do artigo, em questão, relacionadas ao objetivo deste trabalho.

Quadro 1: Categorização dos artigos para revisão integrativa

Artigo	Autor(es)	Ano	Desfecho
Otimização da extração de colágeno a partir de tendões bovinos pela metodologia de superfície de resposta	Alexandre, A. C. S. <i>et al.</i>	2017	Metodologias utilizadas para a extração do colágeno
Propriedades de uma membrana de colágeno bovino Tipo I para aplicações de regeneração óssea guiada	Carlos, N. E. <i>et al.</i>	2021	Morfologia, biocompatibilidade, testes de citotoxicidade e toxicidade
Propriedades funcionais do colágeno e sua função no tecido muscular	Duarte, F. O. S.	22011	Características e tipos de colágeno
A família do colágeno	Blum, S. R.	22011	Organização estrutural do colágeno e suas características
Colágeno: características gerais e produção de peptídeos bioativos – revisão com ênfase nos subprodutos do pescado	Oliveira, V. M.	22017	Tipos de colágeno, métodos de extração e aplicações industriais
Avaliação da neoformação óssea após instalação de malhas de titânio e enxerto ósseo - análise histológica e microtomografia in vivo em ratos	Cristiane, A. B.	22018	Técnicas de regeneração óssea guiada
Anatomia da extremidade distal dos bovinos – I Curso de Podologia Bovina da Universidade de Évora	Romão, R.	22006	Anatomia bovina com detalhamento dos tendões
Produção e caracterização de colágeno tipo I e compósitos hidroxiapatita-colágeno para regeneração óssea	Campos, D. M.	22008	Tecido ósseo, tipos de colágeno e biomateriais
Liofilização	Terroni, H. C. <i>et al.</i>	22023	Etapas do processo de liofilização para o produto final
Caracterização do colágeno tipo I como material para implantes cirúrgicos e substratos para engenharia de tecidos	ASTM Internacional	22008	Normas e especificações para dispositivos médicos

Farmacopéia Brasileira – Agência Nacional de Vigilância Sanitária	—	22019	Diretrizes oficiais farmacêuticas
Caracterização ultraestrutural e físico-química de membrana de colágeno bovino tipo I não reticulado	Blum, I. S. <i>et al.</i>	22021	Métodos para caracterização e análise das propriedades biológicas
Caracterização físico-química do enxerto ósseo bovino liofilizado	Galla, C. R. <i>et al.</i>	22010	Avaliação físico-química do enxerto ósseo liofilizado
Síntese e caracterização de membranas/compósitos de colágeno e hidroxiapatita para reconstituição óssea guiada	Cabral, G.	22016	Métodos para restauração óssea e técnicas de regeneração óssea guiada
Biomateriais utilizados na prática odontológica: uma revisão de literatura	Soares, M.	22015	Tipos de enxertos e suas aplicações odontológicas
Triagem e cultura de células por difusão em ágar para citotoxicidade	ASTM F895-11	22016	Métodos para avaliação de citotoxicidade
Biomateriais na odontologia: panorama atual e perspectivas futuras	Sinhoreti, M. A. C. <i>et al.</i>	22013	Variações de biomateriais e suas aplicações na odontologia
Biocompatibilidade de biomateriais	Borelli, V. <i>et al.</i>	22014	Aspectos de biocompatibilidade dos biomateriais

4 DISCUSSÃO

A partir da elaboração dos resultados e categorização dos artigos a discussão foi dividida por tópicos e cada tópico tem os autores relacionados a resposta do objetivo da revisão.

4.1 ESTRUTURA DO COLÁGENO

O colágeno é uma proteína fibrosa insolúvel, caracterizada por sua elevada resistência mecânica decorrente da sua organização macromolecular. Sua síntese ocorre principalmente em fibroblastos, constituindo o principal componente estrutural de ligamentos e tendões, além de fornecer matriz para processos de calcificação em dentes, cartilagens e tecido ósseo (DUARTE, 2011).

Trata-se da proteína mais abundante em mamíferos, apresentando ao menos um domínio de hélice tripla. Os fibrilares de colágeno são depositados na matriz extracelular, desempenhando funções estruturais fundamentais que contribuem para as propriedades mecânicas, a organização e a morfologia dos tecidos (BLUM *et al.*, 2011).

O colágeno possui versatilidade para ser processado em diversas formas, tais como géis, esponjas, fibras, filmes e até válvulas cardíacas, constituindo uma base essencial para a engenharia de tecidos. Ele proporciona suporte mecânico e atua como arcabouço para a regeneração dos tecidos lesionados, além de ser biodegradável e reabsorvível pelo organismo (CAMPOS, 2008).

Molecularmente, o colágeno é uma glicoproteína composta por três cadeias polipeptídicas helicoidais, cada uma com aproximadamente 1000 aminoácidos. Essas cadeias apresentam rotação helicoidal dextrógira (sentido horário), formando uma tripla hélice estável com comprimento variável. A molécula é especialmente rica em hidroxiprolina, aminoácido que possibilita a quantificação do colágeno em tecidos musculares e que contribui para a estabilidade estrutural da proteína por meio da formação de pontes de hidrogênio entre seus grupamentos hidroxila (-OH) (DUARTE, 2011).

Até o momento, foram identificados 29 tipos genéticos distintos de colágeno, conforme apresentado na Tabela 1. Esses tipos exibem características únicas, embora alguns compartilhem propriedades inter-relacionadas, podendo ser classificados em colágenos fibrilares e não fibrilares (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Tabela 1 - A família do colágeno, tipo e suas características.

Tabela 1 - A família do colágeno, tipo e suas características.	
Tipo	Distribuição tecidual
Colágeno formadores de fibrilas	
I	Pele, tendão, osso, dentina.
II	Cartilagem, corpo vítreo, núcleo pulposo.
III	Pele, parede dos vasos, fibras reticulares da maioria dos tecidos.
V	Pulmão, córnea, ossos, tecidos fetais; juntamente com o colágeno tipo I.
XI	Cartilagem, corpo vítreo.
Colágeno da membrana basal	
IV	Membranas basais.
Colágeno microfibrilar	
VI	Derme, cartilagem, placenta, pulmões, da parede do vaso, disco intervertebral.
Fibrilas de ancoragem	
VII	Pele, junções epidérmicas, cervix.
Colágenos formadores de rede hexagonal	
VIII	Células endoteliais.
X	Cartilagem hipertrófica.
Colágenos FACIT	
IX	Cartilagem, humor vítreo, córnea.
XII	Pericôndrio, ligamentos, tendões.
XIV	Derme, tendão, da parede do vaso, placenta, pulmões, fígado.

- XIX Rabdomyosarcoma humano.
- XX Epitélio da córnea, pele embrionária, cartilagem esternal, tendão.
- XXI Parede de vasos sanguíneos.

Colágenos transmembranares

- XIII Epiderme, endomísio, intestino, condrócitos, pulmões, fígado.
- XVII Junções derme-epidérmicas.

Multiplexin

- XV Fibroblastos, células musculares lisas, rim, pâncreas.
- XVI Fibroblastos, queratinócitos.
- XVII I Pulmões, fígado, timo, músculo, intestino, pele.

Fonte: Oliveira *et al.* 2017.

O colágeno Tipo I tem como função a melhora do crescimento e migração celular, sendo o principal componente que forma a matriz extracelular e permite uma melhora durante a cicatrização. (Carlos, N. E. *et al.*, 2021).

4.2 MÉTODO DA EXTRAÇÃO DO COLÁGENO A PARTIR DE TENDÕES BOVINOS

Os tendões representam a porção bovina mais abundante em colágeno, situados na região caudal, onde passam os tendões dos músculos flexores dos dedos (ROMÃO, 2006). O material utilizado é coletado de bovinos abatidos em frigoríficos e posteriormente congelado. A remoção de tecidos e demais resíduos é realizada com o auxílio de bisturi, em ambiente que respeite os mínimos critérios de assepsia. Posteriormente, os tendões são lavados com solução de Ringer lactato, necessária para o equilíbrio eletrolítico do material, seguida de lavagem com água destilada (CABRAL, 2016).

Os fragmentos tendíneos são tratados com acetona a 99% e hidróxido de sódio 0,1 mol/L por 48 horas, em temperatura controlada entre 5°C e 10°C, submetendo-os a múltiplos banhos para remoção do tecido adiposo e desidratação. Em seguida, o material é centrifugado a 1000 rpm por 10 minutos, mantido a 10°C. A pepsina (250 unidades/mg), em meio ácido contendo ácido acético 0,1 mol/L, é empregada para romper as interações entre as cadeias de colágeno, sob leve agitação, expondo as fibras à digestão peptídica (CABRAL, 2016).

O colágeno não submetido a tratamento químico em ambiente ácido é geralmente estabilizado por ligações cruzadas, degradando-se rapidamente por fagocitose das fibras. A utilização de ácido acético, associada à ação enzimática, promove a remoção dessas

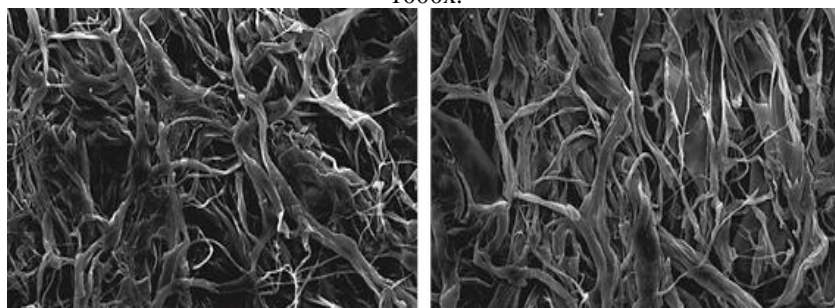
ligações cruzadas intermoleculares e a separação das fibrilas, sem comprometer a estrutura da tripla hélice do colágeno, favorecendo uma interação molecular mais eficiente.

De acordo com Terroni (2011), a liofilização consiste em um processo de secagem realizado em equipamento específico, no qual o produto é congelado e o solvente é removido por sublimação sob baixa temperatura e pressão. O material é colocado em câmaras hermeticamente fechadas, onde o ar é evacuado por bombas de alto vácuo, estabelecendo as condições necessárias para a sublimação da água.

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DO COLÁGENO

Na microscopia eletrônica de varredura (MEV) (Figura 1), a superfície da amostra é escaneada por um feixe de elétrons, que são refletidos e os elétrons retroespalhados são coletados para formar a imagem. Essa imagem é exibida com a mesma taxa de varredura em um tubo de raios catódicos, permitindo a visualização das características superficiais da amostra (SOARES, 2015).

Figura 1 – Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) com ampliações de 500x e 1000x.



Fonte: REGENER, 2023.

De acordo com Soares (2015), a análise combinada de MEV com espectroscopia de raios X dispersiva de energia (EDS) possibilita a obtenção de mapas composicionais da região analisada, permitindo a correlação entre morfologia e composição química. Contudo, para que o feixe de elétrons penetre adequadamente, a amostra deve apresentar condutividade elétrica. Para tanto, foi depositada uma fina camada de ouro sobre o material por meio do processo de sputtering.

O teste de citotoxicidade, conforme definido pela norma ASTM F895-11, é um método essencial para avaliar o potencial citotóxico de novos materiais e formulações, sendo também empregado em programas de controle de qualidade de dispositivos e

componentes médicos estabelecidos. Ensaio *in vitro* com cultura celular apresentam boa correlação com testes em modelos animais e geralmente são mais sensíveis a agentes citotóxicos.

Segundo Carlos *et al.* (2021), foi realizada uma pesquisa *in vivo* para avaliar as propriedades do material para aplicações em regeneração óssea. Os testes laboratoriais envolveram cultura intracutânea em ratos, visando avaliar irritação e sensibilização cutânea. Após a medicação, os animais foram acompanhados por 60 dias para monitoramento da evolução dos parâmetros avaliados. Ao final do período, os ratos foram eutanasiados para exame da morfologia superficial. Foram avaliados os índices de citotoxicidade, rugosidade, umectação da superfície e resistência residual do material.

4.4 REGENERAÇÃO ÓSSEA GUIADA

O desenvolvimento de compósitos biológicos para a reconstituição óssea reveste-se de grande importância, atendendo a uma demanda crescente por aplicações na área da saúde (CABRAL, 2016).

Esses materiais podem ser empregados para preenchimento ósseo em tratamentos com implantes dentários e em cirurgias bucomaxilofaciais, especialmente quando o volume ósseo e o reparo tecidual são insuficientes. O processo cicatricial inicia-se com o preenchimento do alvéolo pelo coágulo sanguíneo, que serve de matriz para a formação de tecido conjuntivo, seguido pela neoformação óssea, desenvolvimento do osso lamelar e medula óssea (BORGES, 2018).

As membranas reabsorvíveis são biomateriais que sofrem degradação macromolecular por meio da associação entre hidrólise e ação enzimática (fosfatase ácida e colagenase), com eliminação completa dos produtos resultantes, sem efeitos residuais locais (SOARES, 2015).

A técnica de Regeneração Óssea Guiada (ROG) consiste na utilização de uma barreira mecânica — geralmente uma membrana — que estimula e orienta o crescimento do novo tecido ósseo. Essa barreira é posicionada estrategicamente para impedir a migração de células epiteliais e fibroblastos para a região em regeneração (BORGES, 2018).

Desenvolvida por Dahlin *et al.* em 1988, a ROG utiliza membranas que podem ser reabsorvíveis ou não, atuando na manutenção do espaço necessário para a regeneração

óssea e na proteção do coágulo formado, permitindo a ação dos osteoblastos e a formação de novo osso, ao mesmo tempo em que exclui as células epiteliais (CABRAL, 2016).

As membranas de colágeno, conforme ilustrado na Figura 2, apresentam propriedades como maleabilidade, adaptação ao leito cirúrgico, função homeostática, facilidade de estabilização e biocompatibilidade com osteoblastos e fibroblastos. Além disso, sua capacidade de reabsorção evita a necessidade de uma segunda cirurgia para remoção (CABRAL, 2016).

Figura 2 – Membrana de colágeno bovino tipo I reabsorvível aplicada em leito cirúrgico.



Fonte: Straumann, *Membranas de Colágeno em Odontologia Regenerativa*.

4.5 BIOCOMPATIBILIDADE E SEGURANÇA DO BIOMATERIAL

Para que um material desempenhe adequadamente sua função como biomaterial, é imprescindível que apresente equilíbrio entre biocompatibilidade, osteocondutividade (capacidade de favorecer o crescimento ósseo) e bioatividade, evitando respostas inflamatórias, imunológicas e outras reações adversas ao organismo.

Segundo Sinhoreti *et al.* (2013, p. 179), “a biocompatibilidade refere-se à ausência de respostas biológicas adversas, tais como reações alérgicas e inflamatórias intoleráveis pelo organismo, associada à alta osteocondutividade e bioatividade, esta última definida como a capacidade do material de se integrar ao tecido biológico.”

Borelli *et al.* (2007) complementam que “o termo biocompatibilidade pressupõe que a aplicação clínica de um biomaterial não provoque reações adversas, tóxicas ou carcinogênicas no paciente.”

A bioatividade está diretamente relacionada à funcionalidade proposta para o biomaterial. Conforme sua natureza química e comportamento fisiológico, os biomateriais são classificados em bioinertes, biotoleráveis, bioativos e absorvíveis (CABRAL; GLAUBERT, 2016).

Conforme as orientações para caracterização do colágeno tipo I da ASTM Internacional, é necessário utilizar métodos de testes sensíveis para assegurar que o nível de impurezas seja inferior a 2%. A quantificação de metais pesados deve ser realizada por técnicas espectrográficas, cromatográficas ou por absorção atômica por chama, a fim de determinar e limitar a presença desses contaminantes.

A Farmacopéia Brasileira recomenda a análise por microscopia óptica para detecção de partículas superficiais, bem como o teste de endotoxinas bacterianas, empregado para identificar a presença de bactérias Gram-negativas.

Galla (2010) destaca a aplicação da microscopia eletrônica de varredura (MEV) para a análise qualitativa e semi-quantitativa da composição química da superfície do biomaterial. Em seu estudo, o tamanho dos poros da amostra foi avaliado e calculado, contribuindo para a caracterização estrutural do material.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O colágeno bovino tipo I, especialmente quando extraído de tendões, demonstra propriedades físico-químicas e estruturais que o qualificam como biomaterial altamente promissor para a fabricação de membranas reabsorvíveis aplicadas na regeneração óssea guiada. O método de extração e a robustez das técnicas de caracterização, incluindo microscopia eletrônica de varredura e análises químicas, asseguram a qualidade, pureza e segurança do material, aspectos essenciais para sua efetividade clínica.

Além disso, a biocompatibilidade promove um ambiente favorável à reparação tecidual, facilitando a integração celular e a regeneração óssea, enquanto minimizam respostas inflamatórias e reações adversas. Essa combinação de propriedades reduz a necessidade de procedimentos invasivos adicionais, como a remoção cirúrgica das membranas, ampliando a segurança e o conforto para o paciente.

A atuação multidisciplinar destaca o papel do profissional farmacêutico é fundamental para o contínuo desenvolvimento, aprimoramento e aplicação clínica dos biomateriais baseados em colágeno bovino, promovendo inovação tecnológica, melhoria dos processos produtivos e adequação dos materiais às necessidades clínicas específicas.

Pesquisas focadas na otimização dos processos de extração, purificação e modificação do colágeno, visando aprimorar suas propriedades mecânicas e funcionais, também são imprescindíveis para expandir seu potencial e áreas que podem ser utilizadas.

A sustentabilidade do aproveitamento de subprodutos bovinos, como os tendões, para a produção de biomateriais representa uma alternativa ecologicamente responsável, alinhada com práticas de economia circular e valorização de recursos naturais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da indústria de dispositivos médicos e da odontologia regenerativa.

REFERÊNCIAS

- ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. **Beef Report – Perfil da Pecuária no Brasil 2022**. São Paulo, 2023. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beefreport-2022/>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- ALEXANDRE, A. C. S. *et al.* Otimização da extração de colágeno a partir de tendões bovinos pela metodologia de superfície de resposta. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 3, supl. 1, p. 38-48, 2017. DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2021.3001>.
- ASTM INTERNATIONAL. **Standard guide for characterization of Type I collagen as starting material for surgical implants and substrates for tissue engineered medical products**. West Conshohocken, 2008. Disponível em: <https://br.astm.org/pt/industry/medical-device/>. Acesso em: 2 jan. 2022.
- ASTM. **F895-11: Standard guide for agar diffusion cell culture screening for cytotoxicity**. West Conshohocken, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1520/F0895-11R16>.
- BLUM, I. S. *et al.* Ultrastructural and physicochemical characterization of a non-crosslinked bovine-derived type I collagen membrane. **Polymers**, v. 13, n. 23, p. 4135, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13234135>.
- BLUM, S. R. The collagen family. **Cold Spring Harbor Perspectives in Biology**, v. 3, n. 1, p. a004978, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a004978>.
- BORELLI, V. *et al.* Biocompatibilidade de biomateriais. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ipen.br/entities/publication/f2993c9b-1778-49e1-b702-faec780aa62f>. Acesso em: 5 jan. 2022.
- BORGES, T. Regeneração óssea guiada: aplicações e perspectivas clínicas. 2018. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2018.
- CABRAL, G. Síntese e caracterização de membranas/compósito de colágeno e hidroxiapatita para reconstituição óssea guiada. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/913/1/dissertacao_cabral_2016.pdf. Acesso em: 2 jan. 2022.
- CABRAL, G.; GLAUBERT, A. Biocompatibilidade e caracterização de biomateriais à base de colágeno. **Revista Brasileira de Biomateriais**, v. 11, n. 2, p. 45-57, 2016.
- CAMPOS, D. M. Produção e caracterização de colágeno tipo I e de compósitos hidroxiapatita-colágeno para regeneração óssea. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/BRCRIS_4e9ba1f6a9cfc4276cfce4ccbdf04bca. Acesso em: 18 nov. 2021.

CARLOS, N. E. *et al.* Propriedades de uma membrana de colágeno bovino tipo I para aplicações de regeneração óssea guiada. **e-Polímeros**, v. 21, p. 210-221, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5073/e-polymers.2021.21.210-221>.

CRISTIANE, A. B. Avaliação da neoformação óssea após instalação de malhas de titânio e enxerto ósseo – análise histológica e microtomografia **in vivo** em ratos. 2018. Dissertação (Mestrado em Odontologia) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.58.2019.tde-09112018-091416>.

DUARTE, F. O. S. Propriedades funcionais do colágeno e sua função no tecido muscular. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 11, p. 10220-10231, 2011. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-112>.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 6. ed., v. 1. Brasília: ANVISA, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/farmacopeia>. Acesso em: 2 jan. 2022.

GALLA, C. R. *et al.* Caracterização físico-química do enxerto de osso bovino liofilizado. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 18, n. 4, p. 217-221, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-36162011000400017>.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Revisão integrativa: método de pesquisa para a incorporação de evidências na saúde e na enfermagem. **Texto & Contexto Enfermagem**, v. 17, n. 4, p. 758-764, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-07072008000400018>.

OLIVEIRA, V. M. Colágeno: características gerais e produção de peptídeos bioativos – uma revisão com ênfase nos subprodutos do pescado. **Acta Fish.**, v. 5, n. 2, p. 56-68, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2312/ActaFish.2017.5.2.56-68>.

REGENER BIOMATERIAIS. **Green membrane – membrana de colágeno tipo I**. Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://regenerbio.com.br/green-membrane/>. Acesso em: 14 abr. 2023.

ROMÃO, R. Anatomia da extremidade distal dos bovinos. In: Curso De Podologia Bovina Da Universidade De Évora, 2006, Évora. Anais [...]. Évora: Universidade de Évora, 2006. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/10432/1/Anatomia%20podal%20bovina%20RR%202006.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2021.

SINHORETI, M. A. C. *et al.* Biomateriais na odontologia: panorama atual e perspectivas futuras. **Revista de Odontologia da USP**, v. 24, n. 4, p. 175-182, 2013. Disponível em: http://revodonto.bvsalud.org/scielo.php?pid=S0004-52762013000400002&script=sci_arttext. Acesso em: 15 nov. 2021.

SOARES, M. Biomateriais utilizados na prática odontológica: uma revisão de literatura. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2015. Disponível em: <https://www.uel.br/graduacao/odontologia/portal/pages/arquivos/TCC2015/MURILO%20VILA%20REAL%20SOARES.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2022.

STRAUMANN. **Membranas de colágeno em odontologia regenerativa**. Basel: Straumann, 2023. Disponível em:

<https://www.straumann.com/pt/pt/shared/news/membranes/collagenmembranes-in-regenerative-dental-medicine.html>. Acesso em: 14 abr. 2023.

TERRONI, H. C. *et al.* Liofilização. **Revista Unilago**, v. 3, n. 2, p. 45-58, 2013.

Disponível em:

<http://www.unilago.edu.br/revista/edicaoanterior/Sumario/2013/downloads/2013/LIOFILIZA%C3%87%C3%83O.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023.