



Avanços e perspectivas sobre o tratamento de queimaduras

Advances and perspectives on burns treatment

Avances y perspectivas sobre el tratamiento de quemaduras

Luiz Otávio da Silva¹, Matheus Murta Lage², Luís Filipe Souza Trindade³, Bruno Pithon Costa Souza⁴, Talita Miranda Santos⁵.

RESUMO

Objetivo: Identificar na literatura científica os principais avanços terapêuticos e perspectivas emergentes relacionados ao tratamento de pacientes com queimaduras. **Métodos:** Revisão integrativa com busca nas bases BVS, SciELO, PubMed e Google Scholar. Foram incluídos artigos publicados entre 2021 e 2025, em português, inglês ou espanhol, que abordassem tratamentos clínicos, cirúrgicos ou tecnológicos de queimaduras. Após triagem de 137 estudos, 20 compuseram a amostra final. Os dados foram extraídos por fichamento padronizado e analisados criticamente quanto à relevância e qualidade metodológica.

Resultados: Foram identificados avanços significativos no tratamento de queimaduras, envolvendo o uso de enxertos autólogos, enxertos acelulares, terapias celulares com queratinócitos, fibroblastos e células-tronco mesenquimais, além de tecnologias emergentes como curativos nanotecnológicos, desbridamento enzimático com bromelina e terapia por pressão negativa. Os dados sugerem benefícios clínicos relevantes, como aceleração da cicatrização, redução da dor e melhora estética das cicatrizes, especialmente quando os métodos são aplicados de forma integrada e individualizada. **Considerações finais:** O tratamento de queimaduras caminha para uma abordagem mais tecnológica, individualizada e eficiente, embora ainda careça de maior padronização clínica e validação em ensaios multicêntricos. As inovações analisadas demonstram potencial significativo para melhorar desfechos clínicos e estéticos.

Palavras-chave: Queimaduras, Terapêutica, Enxertos de pele.

ABSTRACT

Objective: To identify in the scientific literature the main therapeutic advances and emerging perspectives related to the treatment of patients with burns. **Methods:** Integrative review with searches in the BVS, SciELO, PubMed, and Google Scholar databases. Articles published between 2021 and 2025 in Portuguese, English, or Spanish that addressed clinical, surgical, or technological treatments for burns were included. After screening 137 studies, 20 were included in the final sample. Data were extracted using a standardized form and critically analyzed for relevance and methodological quality. **Results:** Significant advances were identified in the treatment of burns, involving the use of autologous grafts, acellular grafts, cell therapies with keratinocytes, fibroblasts, and mesenchymal stem cells, as well as emerging technologies such as

¹ Universidade de São Paulo (USP Bauru), Bauru – SP.

² Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), Ouro Preto – MG.

³ Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Belo Horizonte – MG.

⁴ Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde de Juiz de Fora (SUPREMA), Juiz de Fora – MG.

⁵ Universidade de Itaúna (UIT), Itaúna – MG.

nanotechnological dressings, enzymatic debridement with bromelain, and negative pressure therapy. The data suggest relevant clinical benefits, such as accelerated healing, reduced pain, and improved scar aesthetics, especially when the methods are applied in an integrated and individualized manner. **Final considerations:** Burn treatment is moving toward a more technological, individualized, and efficient approach, although it still lacks greater clinical standardization and validation in multicenter trials. The innovations analyzed demonstrate significant potential for improving clinical and aesthetic outcomes.

Keywords: Burns, Therapy, Skin grafts.

RESUMEN

Objetivo: Identificar en la literatura científica los principales avances terapéuticos y perspectivas emergentes relacionados con el tratamiento de pacientes con quemaduras. **Métodos:** Revisión integrativa con búsqueda en las bases BVS, SciELO, PubMed y Google Scholar. Se incluyeron artículos publicados entre 2021 y 2025, en portugués, inglés o español, que abordaran tratamientos clínicos, quirúrgicos o tecnológicos de quemaduras. Tras la selección de 137 estudios, 20 compusieron la muestra final. Los datos se extrajeron mediante fichas estandarizadas y se analizaron críticamente en cuanto a su relevancia y calidad metodológica. **Resultados:** Se identificaron avances significativos en el tratamiento de quemaduras, que implicaban el uso de injertos autólogos, injertos acelulares, terapias celulares con queratinocitos, fibroblastos y células madre mesenquimales, además de tecnologías emergentes como vendajes nanotecnológicos, desbridamiento enzimático con bromelina y terapia de presión negativa. Los datos sugieren beneficios clínicos relevantes, como la aceleración de la cicatrización, la reducción del dolor y la mejora estética de las cicatrices, especialmente cuando los métodos se aplican de forma integrada e individualizada. **Consideraciones finales:** El tratamiento de las quemaduras avanza hacia un enfoque más tecnológico, individualizado y eficiente, aunque aún se necesita una mayor estandarización clínica y validación en ensayos multicéntricos. Las innovaciones analizadas demuestran un potencial significativo para mejorar los resultados clínicos y estéticos.

Palabras clave: Quemaduras, Terapia, Injertos de piel.

INTRODUÇÃO

Do ponto de vista histológico, a pele é composta pela epiderme, derme e hipoderme, sendo considerada o maior órgão do corpo humano, com funções extremamente relevantes para a manutenção da homeostase do organismo. Contudo, devido ao fato de ser uma estrutura com dimensões consideráveis, ela também está propensa a danos causados por microrganismos e fatores químicos, mecânicos e térmicos. Nesse sentido, uma das principais formas de agressão à pele são as queimaduras, as quais afetam mais de 11 milhões de pessoas anualmente e são causadoras de óbitos em cerca de 300.000 indivíduos, de acordo com relatórios da Organização Mundial da Saúde (BICALHO FF, et al., 2024).

Como toda agressão à fisiologia do organismo, as queimaduras desencadeiam uma resposta local e sistêmica, que tem como objetivo reparar a lesão provocada. Estudos moleculares têm demonstrado que o processo inflamatório decorrente da agressão térmica causa a liberação de citocinas inflamatórias em resposta à perda da barreira física da pele.

Diante dessa situação, a infecção por microrganismos e posterior evolução para sepse, em associação com a grande perda de fluídos por evaporação e dano vascular, representa um dos pilares de gravidade ao se abordar um paciente queimado (KAREEM NA, et al., 2021; LENZ M, et al., 2025). Nesse contexto, o tempo de cicatrização das feridas depende da gravidade da lesão, que envolve o acometimento das camadas da pele como referência.

Ao passo que as queimaduras superficiais, que atingem apenas a epiderme, cicatrizam em poucas semanas sem deixar cicatrizes, as feridas profundas demandam mais tempo de recuperação. Isso decorre da destruição da matriz extracelular (MEC), da degradação de fatores de crescimento, do aumento de citocinas pró-inflamatórias, proteases e espécies reativas de oxigênio, além da possível ocorrência de

infecções (RADZIKOWSKA-BUCHNER E, et al., 2023; MARKIEWICZ-GOSPODAREK A, et al., 2022). Diante desse cenário, o objetivo do tratamento das queimaduras é restaurar a pele danificada, em sentido morfofuncional, o que engloba diversas estratégias de manejo.

Assim, o tratamento cirúrgico envolve o desbridamento do tecido necrótico para prevenir a sepse da ferida por queimadura, seguido da cobertura definitiva da ferida com enxertos de pele autólogos de espessura parcial, colhidos de locais doadores saudáveis. Entretanto, essa modalidade nem sempre é uma opção, sobretudo, em casos extensos, nos quais a disponibilidade de enxertos do próprio doador é limitada.

Nesses casos, as feridas são temporariamente cobertas com aloenxertos de pele de cadáver humano ou xenoenxertos de pele suína ou análogos dérmicos, até que seja obtida a cobertura definitiva com enxertos de pele autóloga ou substitutos artificiais da pele (KAREEM NA, et al., 2021; STAUD CJ, et al., 2023).

Hodiernamente, existem novas tecnologias e métodos de tratamento que estão sendo estudados no contexto das queimaduras, como o uso de células-tronco e nanotecnologia, e até mesmo pressão negativa sobre a ferida como opções. O objetivo desta revisão é, portanto, identificar na literatura existente, informações clínicas e terapêuticas sobre os avanços e as perspectivas no tratamento de pacientes queimados, com o intuito de fornecer atualizações no que diz respeito ao manejo e à conduta dessa grave situação.

MÉTODOS

Este estudo constitui uma revisão integrativa da literatura, fundamentada na metodologia proposta em seis etapas por Souza MT, et al. (2010). A primeira etapa consistiu na formulação da questão norteadora: “Quais são os principais avanços e perspectivas na literatura científica recente sobre o tratamento de pacientes queimados?”.

Em seguida, foram definidos os critérios de inclusão, que abrangeram estudos publicados entre 2021 e 2025, disponíveis na íntegra em português, inglês ou espanhol, e que abordassem o tratamento clínico, cirúrgico ou tecnológico de queimaduras, incluindo inovações e tendências emergentes. Foram excluídos artigos duplicados, sem revisão por pares ou que tratassem de temas não diretamente relacionados à terapêutica das queimaduras.

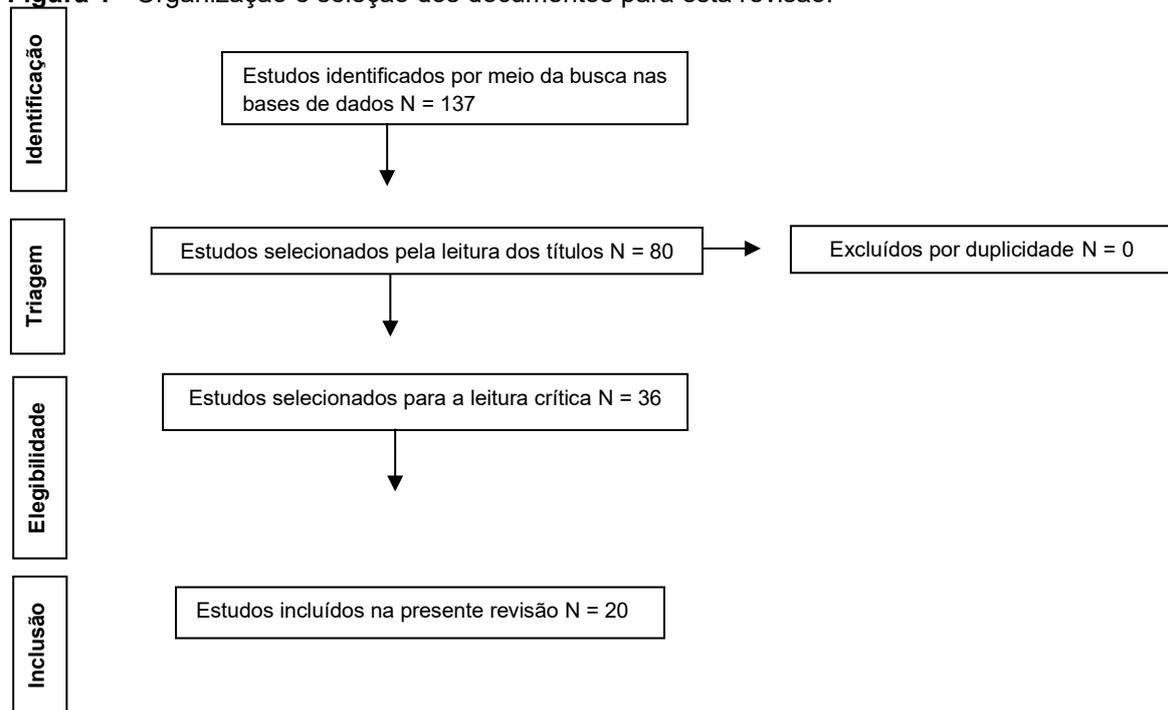
A busca sistemática foi realizada nas bases de dados BVS, SciELO, Google Scholar e PubMed, utilizando descritores dos DeCS e MeSH combinados por operadores booleanos nas três línguas, tais como “Queimaduras”, “Tratamento” e “Cuidados Críticos”. Inicialmente, foram identificados 137 artigos. Após triagem por títulos e resumos, 36 estudos foram selecionados para leitura completa, dos quais 16 foram excluídos, resultando em uma amostra final de 20 publicações.

Na terceira etapa, os dados relevantes foram extraídos desses estudos por meio de fichamento padronizado, contemplando informações como autor, ano, tipo de estudo, objetivos, resultados e conclusões. Posteriormente, realizou-se uma análise crítica da qualidade metodológica, considerando o desenho do estudo, rigor científico, clareza dos dados e relevância para o tema. Isso permitiu classificar os estudos quanto à sua evidência e aplicabilidade clínica.

Os resultados foram organizados em categorias temáticas, tais como novas tecnologias em curativos e biomateriais, avanços cirúrgicos e enxertos, tratamentos ambulatoriais, terapias complementares e protocolos emergentes para queimaduras graves. A interpretação dos achados buscou identificar padrões, lacunas e controvérsias na literatura, promovendo uma visão integrada e atualizada sobre o tratamento de queimados.

Por fim, os dados foram sistematizados e apresentados de forma clara e objetiva, incluindo texto e quadros, que facilitam a compreensão dos principais avanços e perspectivas no campo. Essa apresentação visa contribuir para a atualização do conhecimento científico e para a melhoria das práticas clínicas relacionadas ao manejo terapêutico de pacientes com queimaduras. A **Figura 1** esquematiza a metodologia empregada, ilustrando as etapas realizadas para alcançar o objetivo desta revisão.

Figura 1 - Organização e seleção dos documentos para esta revisão.



Fonte: Silva LO, et al., 2025.

RESULTADOS

O **Quadro 1** abaixo resume os principais achados dos artigos analisados na construção da revisão integrativa sobre os avanços e as perspectivas no tratamento de queimaduras, englobando o que já está consolidado, como o uso de enxertos autólogos, e as novas opções que estão sendo estudadas, tais quais o uso de nanotecnologia.

Quadro 1 - Síntese dos principais achados sobre o tratamento de queimaduras.

N	Autores (Ano)	Principais achados
1	Almeida SRV, et al. (2023)	Estudo de revisão narrativa, com enfoque clínico-descritivo. Com o objetivo de discutir o papel da cirurgia plástica no tratamento das queimaduras, abordando aspectos reconstrutivos, cicatriciais e suporte nutricional. Concluíram que os enxertos e retalhos continuam essenciais na reabilitação funcional e estética, especialmente quando integrados a cuidados multidisciplinares e estratégias de suporte metabólico.
2	Bicalho FF, et al. (2024)	Estudo de revisão sistemática, de abordagem qualitativa e descritiva. Com o objetivo de avaliar a eficácia dos enxertos de pele autólogos e acelulares no tratamento cirúrgico de queimaduras profundas, bem como seus impactos funcionais, estéticos e operacionais. Concluíram que os enxertos autólogos permanecem como padrão-ouro, enquanto técnicas alternativas, como o uso de pele de peixe e a técnica de Meek, apresentam bons resultados, embora ainda demandem mais estudos clínicos para sua consolidação e aplicação em larga escala.
3	Domaszewska-Szostek AP, et al. 2021	Estudo de revisão integrativa, de natureza narrativa e abordagem qualitativa. Com o objetivo de analisar as terapias celulares aplicadas localmente no tratamento de queimaduras, avaliando sua eficácia clínica, mecanismos biológicos e produtos utilizados. Concluíram que as terapias com queratinócitos, fibroblastos e células-tronco apresentam benefícios na reepitelização, redução da dor e melhora estética, embora ainda careçam de padronização e evidência robusta para ampla adoção clínica.
4	Eldaly AS, et al. (2023)	Estudo de revisão narrativa, com abordagem descritiva e foco translacional. Com o objetivo de revisar intervenções pré-clínicas que modulam o hipermetabolismo induzido por queimaduras em modelos animais. Concluíram que substâncias como insulina, IGF-1, eritropoetina, metformina e MSCs mostraram potencial na redução da resposta catabólica e inflamatória, sendo candidatas promissoras para futuras terapias clínicas.

N	Autores (Ano)	Principais achados
5	Hemmami H, et al. (2023)	Estudo de revisão narrativa, de natureza teórica e abordagem exploratória. Com o objetivo de descrever os avanços terapêuticos relacionados ao uso de nanopartículas de óxido de zinco no tratamento de queimaduras. Concluíram que as ZnO-NPs apresentam ação antimicrobiana, anti-inflamatória e estimulam a regeneração, sendo viáveis para aplicação em curativos avançados, embora ainda exijam estudos clínicos sobre toxicidade e segurança.
6	Huang R, et al. (2021)	Estudo de revisão narrativa, com enfoque clínico-descritivo. Com o objetivo de discutir o papel da cirurgia plástica no tratamento das queimaduras, abordando aspectos reconstrutivos, cicatriciais e suporte nutricional. Concluíram que os enxertos e retalhos continuam essenciais na reabilitação funcional e estética, especialmente quando integrados a cuidados multidisciplinares e estratégias de suporte metabólico.
7	Ibrahim M, et al. (2023)	Estudo de revisão sistemática, de abordagem comparativa. Com o objetivo de avaliar a eficácia dos enxertos de pele de peixe em comparação a outros curativos e enxertos no tratamento de queimaduras e úlceras crônicas. Concluíram que o enxerto de peixe acelera a cicatrização, reduz dor, infecção e custo, sendo uma alternativa segura e acessível, especialmente em contextos de baixa renda.
8	Kareem NA, et al. (2021)	Estudo de revisão narrativa, com abordagem translacional. Com o objetivo de sintetizar o uso de terapias com células-tronco no tratamento de queimaduras. Concluíram que MSCs promovem regeneração tecidual, angiogênese e imunomodulação, com bons resultados em estudos experimentais e preliminares clínicos, embora ainda haja limitações quanto à padronização e escalabilidade.
9	Lan J, et al. (2023)	Estudo experimental pré-clínico, com abordagem aplicada. Com o objetivo de desenvolver e testar um curativo hidrogelado com microcanais fractais de drenagem contínua (EFS hydrogel) para feridas por queimadura. Concluíram que o curativo promoveu cicatrização acelerada, redução do exsudato e boa aderência em modelo animal, sendo promissor para uso clínico futuro.
10	Lenz M, et al. (2024)	Estudo de revisão sistemática, com abordagem clínica. Com o objetivo de avaliar disponibilidade, eficácia e segurança de enxertos de pele alogênicos (cadavéricos e frescos) no cuidado de queimaduras pediátricas. Concluíram que os enxertos alogênicos são eficazes como cobertura temporária e facilitam a reepitelização, embora a evidência seja limitada e baseada em estudos retrospectivos.
11	Markiewicz-Gospodarek A, et al. (2022)	Estudo de revisão narrativa, com abordagem clínica e multidisciplinar. Com o objetivo de revisar as complicações, terapias e tipos de curativos utilizados no tratamento de queimaduras. Concluíram que as terapias modernas — incluindo enxertos biológicos, engenharia de tecidos, curativos avançados e terapias enzimáticas — são eficazes na redução de infecção e melhora da cicatrização, mas ainda requerem validação ampla.
12	Nuhiji E, (2023)	Estudo de revisão narrativa, com abordagem aplicada. Com o objetivo de avaliar a efetividade da terapia por pressão negativa (NPWT e NPWTi-d) no manejo de queimaduras. Concluíram que a terapia melhora a granulação, adesão do enxerto e redução do tempo de cicatrização, sendo segura e eficaz, com necessidade de mais ensaios clínicos para padronização.
13	Radzikowska-Büchner E, et al. (2023)	Estudo de revisão narrativa, com enfoque translacional. Com o objetivo de reunir os principais avanços no tratamento de queimaduras, desde o atendimento inicial até a reabilitação. Concluíram que o uso de substitutos dérmicos, engenharia tecidual, curativos inteligentes e suporte nutricional vêm transformando o cuidado ao paciente queimado, com melhorias funcionais e estéticas significativas.
14	Staud CJ, et al. (2023)	Estudo retrospectivo, observacional e descritivo. Com o objetivo de relatar a experiência de um centro austríaco com a implementação de banco de pele e uso de enxertos alogênicos em grandes queimaduras. Concluíram que o uso sistematizado de enxertos alogênicos após necrosectomia precoce foi seguro, eficaz e permitiu melhor manejo de pacientes críticos com cobertura cutânea limitada.
15	Tapking C, et al. (2023)	Estudo retrospectivo, comparativo e quantitativo. Com o objetivo de avaliar a eficácia do desbridamento enzimático com bromelina (NexoBrid®) em pacientes idosos com queimaduras. Concluíram que o procedimento foi seguro e eficaz, com redução de necessidade cirúrgica e sem aumento de complicações, indicando que a idade não é fator limitante para sua aplicação.
16	Van Den Bosch AS, et al. (2024)	Estudo de revisão sistemática com meta-análise, de abordagem quantitativa. Com o objetivo de avaliar a eficácia dos substitutos dérmicos em queimaduras agudas e reconstruções cicatriciais. Concluíram que os substitutos melhoram a qualidade da cicatriz, embora retardem levemente a reepitelização, sendo indicados em casos selecionados com foco estético e funcional.

N	Autores (Ano)	Principais achados
17	Vasella M, et al. (2023)	Estudo retrospectivo, descritivo e clínico. Com o objetivo de avaliar o uso do curativo nanofibrilar SpinCare™ em queimaduras faciais de espessura parcial. Concluíram que o curativo promoveu cicatrização rápida, alívio da dor e bom resultado estético-funcional, sendo seguro e de fácil aplicação, com necessidade de novos estudos comparativos.
18	Yassaghi Y, et al. (2024)	Estudo de revisão sistemática, de abordagem clínica e translacional. Com o objetivo de analisar os resultados de ensaios clínicos com terapias celulares no tratamento de queimaduras térmicas. Concluíram que queratinócitos, fibroblastos e MSCs, isolados ou combinados com biomateriais, apresentaram benefícios em cicatrização e qualidade da pele, com baixa incidência de eventos adversos.
19	Zanganeh M, et al. (2021)	Estudo observacional, retrospectivo e comparativo. Com o objetivo de comparar os desfechos cicatriciais entre pacientes com queimaduras profundas de segundo grau tratados com enxerto de pele ou de forma conservadora. Concluíram que o tratamento conservador resultou em melhores resultados estéticos e estruturais das cicatrizes, especialmente em regiões como dorso e glúteos.
20	Zwierello W, et al. (2023)	Estudo de revisão narrativa, com enfoque clínico-fisiopatológico. Com o objetivo de apresentar os principais aspectos classificatórios, fisiopatológicos e terapêuticos das queimaduras. Concluíram que a combinação de excisão precoce, enxertia, suporte nutricional e terapias avançadas melhora a recuperação e sobrevida, sendo necessária uma abordagem integrada e individualizada.

Fonte: Silva LO, et al., 2025.

DISCUSSÃO

O estudo desenvolvido por Almeida SRV, et al. (2023) apresenta um panorama geral sobre o tratamento de queimaduras no contexto hospitalar hodierno. No campo da cirurgia plástica, os autores discutem as principais intervenções reconstrutivas utilizadas, com destaque para retalhos e enxertos como as técnicas mais utilizadas. Não somente, o trabalho também cita avanços tecnológicos como a microcirurgia reconstrutiva e a bioimpressão 3D de tecidos (biofabricação), além de abordar as opções do manejo inicial para as áreas doadoras de enxertos como gaze com soro fisiológico, curativos com colágeno e alginato, e hidrocoloides.

De maneira geral, os autores apontam que a abordagem multidisciplinar, assentada na reconstrução morfofuncional da pele pela cirurgia plástica, é essencial para que a reabilitação do paciente seja realizada de forma eficaz. Ainda no espectro geral da abordagem do paciente queimado, é importante destacar as medidas que vão além da reconstrução da pele. Com a ruptura da barreira mecânica exercida pela epiderme, é necessário iniciar a reposição volêmica para mitigar a perda de água por evaporação e dano vascular, sendo utilizada a fórmula de Parkland para calcular o volume necessário.

Além disso, a vigilância infecciosa é de suma importância para reduzir os riscos de sepse, sendo indicados o monitoramento com exames laboratoriais para diagnóstico precoce de algum foco infeccioso. Outro pilar evidenciado é a nutrição e a suplementação, haja vista que o ambiente metabólico criado após uma queimadura extensa é de hipercatabolismo (ZWIERELLO W, et al., 2023). Outro ponto que deve ser considerado no tratamento de pacientes queimados é o estado hipermetabólico induzido nos pacientes. Embora essa resposta fisiológica inicialmente represente um mecanismo adaptativo, sua persistência gera efeitos deletérios importantes, como resistência insulínica, disfunção cardiovascular, catabolismo muscular, prejuízo na cicatrização e aumento da mortalidade.

Nesse contexto, Eldaly AS, et al. (2023) discorrem sobre diversas terapias para abordar especificamente esse cenário. Por exemplo, embora o rhGH (hormônio do crescimento recombinante) e o IGF-1 (fator de crescimento tipo 1) tenham efeitos anabólicos, a associação com complicações como resistência insulínica e neuropatias limita sua aplicabilidade. Além disso, substâncias como acipimox e glutamina mostraram efeitos fisiológicos múltiplos promissores, mas ainda carecem de validação clínica em grandes amostras humanas. Ademais, os autores reconhecem o tecido adiposo como um importante modulador do estado hipermetabólico, sobretudo, pela produção de interleucina-6.

Adentrando nos métodos específicos de tratamento de queimaduras, Bicalho FF, et al. (2024) discorrem sobre a eficácia do uso de enxertos autólogos e acelulares na terapêutica de lesões profundas. Em relação

aos autólogos, os dados apontam sua escolha como padrão-ouro, especialmente quando aplicados sobre leito adequadamente preparado. Dentre as técnicas de inserção, a de Meek se destacou por apresentar maior taxa de pega de enxertos (84,25%) e melhores resultados estéticos que o enxerto em malha, apesar do maior tempo operatório. Por sua vez, o uso de enxertos acelulares de pele de peixe, especialmente de tilápia e bacalhau, também demonstrou benefícios clínicos significativos, como aceleração da cicatrização, alívio da dor e menor frequência de troca de curativos, embora os estudos ainda apresentem limitações metodológicas e amostras reduzidas.

Dessa forma, é evidente que os enxertos autólogos continuam sendo indispensáveis no tratamento de queimaduras profundas, mas existe potencial no uso de enxertos acelulares, reforçando a evolução necessária nessa modalidade. Dentre os queratinócitos autólogos, existem diversas modalidades que podem ser utilizadas, incluindo folhas epiteliais cultivadas (CEA), sprays celulares e produtos comerciais como Epicel®, ReCell®, Keraheal™ e JACE®. Os dados mostram benefícios significativos dessas abordagens, especialmente em pacientes com queimaduras extensas e pouca área doadora. Há melhora na sobrevida, redução de dor, menor tempo de internação e melhora estética das cicatrizes, principalmente quando combinadas com enxertos de espessura parcial (STSG).

Em relação ao uso de células-tronco mesenquimais, pode-se dizer que existem relatos de casos e pequenos estudos que sugerem sua eficácia, especialmente na regeneração de glândulas sudoríparas e na revascularização de áreas lesionadas, sendo as fontes celulares a medula óssea e o tecido adiposo. Os resultados são promissores, mas preliminares, com amostras pequenas e seguimento limitado. (DOMASZEWSKA-SZOSTEK AP, et al., 2021). Sob tal ótica, o uso de células-tronco também é abordado por Yassaghi Y, et al. (2024). Os autores realizaram uma revisão sistemática que englobou 30 ensaios clínicos, com um total de 970 paciente submetidos a terapias celulares para queimaduras térmicas, dentre elas o uso de combinações de queratinócitos, fibroblastos, melanócitos, células-tronco mesenquimais (MSCs) e suas variações.

Em comparação ao uso de enxertos, essas modalidades de tratamento apresentaram tempo de fechamento da ferida reduzido, melhora na qualidade da cicatriz, redução da necessidade de enxertia autóloga e baixa incidência de complicações. Sendo assim, os autores concluíram que as terapias celulares representam uma abordagem promissora e viável para o tratamento de feridas por queimadura, contudo é necessária a padronização dos protocolos clínicos, ensaios randomizados multicêntricos e avaliações de custo-efetividade para guiar a adoção mais ampla dessas terapias na prática clínica. Outra revisão sistemática de bastante relevância foi a desenvolvida por van den Bosch AS, et al. (2024), a qual buscou avaliar o uso de substitutos dérmicos em pacientes com queimaduras agudas e na reconstrução de cicatrizes por queimaduras.

No contexto da injúria aguda, os autores evidenciaram uma reepitelização mais lenta de 4 a 7 dias com substitutos à base de colágeno-elastina (como Matriderm®) quando comparados ao enxerto de espessura parcial (STSG) isolado (diferença média: - 7,30%, $p = 0,02$) e uma qualidade de cicatriz melhor com matrizes dérmicas acelulares (como Jieya Matrix®) aos 6 meses após a cirurgia em relação ao STSG convencional (diferença média no escore de cicatriz de Vancouver - VSS: - 1,95, $p < 0,01$). Para reconstrução de cicatrizes, os dados foram mais heterogêneos, mas mostraram tendência semelhante: embora os substitutos dérmicos não acelerem a cicatrização inicial, melhoram os desfechos estéticos e estruturais da cicatriz a longo prazo.

Uma terapêutica de extrema relevância que vêm sendo desenvolvido engloba a utilização de nanotecnologia como ferramenta para o cuidado de pacientes que sofreram queimaduras. Hemami H, et al. (2023) destacam o uso de nanopartículas de óxido de zinco (ZnO NPs), enfatizando sua ação antimicrobiana de amplo espectro, capacidade anti-inflamatória e potencial de acelerar a regeneração tecidual. Os autores, em sua extensa revisão, relatam as evidências pré-clínicas que essas partículas promovem o efeito terapêutico por múltiplos mecanismo, tais como a migração, adesão e proliferação celular, favorecendo a ação de fatores de crescimento endógenos. De encontro aos benefícios relatados, Huang R, et al. (2021) alertam para a toxicidade das nanopartículas metálicas, citando diretamente as de zinco e as de ouro. Isso, em associação com o acúmulo em tecidos e os potenciais efeitos adversos a longo prazo em humanos são

apontados como barreiras para sua aprovação e aplicação clínica em larga escala. Ainda no espectro das terapias nanotecnológicas, Vasella M, et al. (2023) discorrem especificamente sobre a eficácia do SpinCare®, uma camada epidérmica temporária nanofibrilar que é aplicada por eletrofiação diretamente sobre a pele agredida. Os principais pontos positivos ressaltados na análise foram a proteção contra microrganismos e garantia de permeabilidade para exsudatos, a analgesia imediata e manutenção do conforto durante a recuperação, e a aplicação única, o que evita a manipulação frequente do local lesionado. Os autores relatam que a aplicação foi bem tolerada mesmo em pacientes intubados, embora mencionem desafios técnicos relacionados à interferência eletrostática de tubos e gases, que exigiram ajustes na distância de aplicação. De forma geral, há a percepção de que se trata de uma opção eficaz, segura e confortável para o tratamento de queimaduras superficiais e de espessura parcial.

A revisão de literatura construída por Ibrahim M, et al. (2023) compara a utilização de enxertos de pele acelular (AFS, do inglês acellular fish skin) com diferentes métodos de tratamento para queimaduras. Ao comparar com outras terapias, como o uso de alógenos humanos (dHACM) ou xenógenos bovinos, os autores apontam que o enxerto de peixe se destaca não apenas na eficácia clínica, mas também na ausência de reações adversas, no menor custo e na manutenção de propriedades biológicas, já que não requer detergentes agressivos para esterilização, ao contrário dos enxertos mamíferos. Fisiologicamente, essa vantagem pode ser explicada, dentre múltiplas razões, pela presença de ácidos graxos ômega-3, os quais exercem ações anti-inflamatórias e antimicrobianas.

Além disso, a alta porosidade e a semelhança estrutural com a pele humana, favorecendo a adesão celular e o crescimento de fibroblastos. Embora o uso de enxertos seja a terapêutica de escolha, algumas lesões são tratadas de maneira conservadora. Com o intuito de validar essa forma de abordagem, Zanganeh M, et al. (2021), compararam os desfechos cicatriciais de 75 pacientes com queimaduras profundas de segundo grau em tronco e glúteos, tratados com enxertia autóloga (n = 32) ou tratamento conservador (n = 43).

Os resultados demonstraram que os pacientes submetidos a enxertos apresentaram, em média, escores significativamente mais altos na escala de cicatriz de Vancouver (VSS) e em todos os seus componentes: pigmentação, vascularização, espessura e maleabilidade ($P < 0,001$ para todos). Estes dados indicam que, apesar da cicatrização mais rápida e eficiente promovida pela enxertia, os resultados estéticos e estruturais da cicatriz foram piores nos pacientes enxertados, com maior rigidez, espessamento e alterações pigmentares. Dessa forma, Os autores propõem que, especialmente em pacientes com queimaduras extensas e áreas doadoras limitadas, a priorização da enxertia para outras áreas funcionais e estéticas mais sensíveis (como membros, face e articulações) pode ser mais vantajosa. Nas áreas do dorso e nádegas, o tratamento conservador pode resultar em cicatrização mais lenta, porém com qualidade cicatricial superior, como demonstrado pelos menores escores de VSS.

Outra modalidade terapêutica inovadora é o desbridamento enzimático (ED) com bromelina. Tapking C, et al. (2023) conduziram um estudo retrospectivo para avaliar a eficácia desse tratamento em 169 pacientes adultos com queimaduras profundas e de espessura mista, divididos em dois grupos: jovens (18 –65 anos) e idosos (≥ 65 anos). A análise mostrou que a área corporal tratada com ED foi semelhante nos dois grupos e não houve diferença significativa quanto à necessidade de cirurgia subsequente, nem na área enxertada após ED, nem na duração da internação hospitalar. Essa análise evidencia que o ED, embora tradicionalmente considerado mais seguro para pacientes mais jovens com melhor integridade cutânea, mostrou-se igualmente eficaz e seguro em idosos.

Outro ponto relevante é que, mesmo quando a ED não evitou completamente a cirurgia, ela reduziu significativamente a área que necessitou de enxertia, o que representa um ganho clínico importante, principalmente em pacientes com áreas doadoras limitadas. A utilização de pressão negativa é uma modalidade crescente em diversas áreas dentro da medicina, sendo também uma nova modalidade terapêutica na abordagem de pacientes queimados. A revisão desenvolvida por Nuhji E (2024) avaliou 13 estudos envolvendo 308 pacientes tratados com terapias por pressão negativa (NPWT) e pressão negativa com instilação e tempo de permanência (NPWTi-d) no contexto de queimaduras. De forma geral, os estudos relataram que o uso de NPWT promoveu adesão do enxerto acima de 90%, desenvolvimento de tecido de

granulação, e redução no tempo até o fechamento definitivo da ferida. Com o objetivo de reduzir complicações como a sepse, a NPWT e a NPWTI-d se apresentam como terapias adjuvantes eficazes ao oferecer um ambiente fechado que promove granulação, retira exsudato e contaminantes e favorece o preparo do leito para enxertia ou fechamento primário. Dessa maneira, o autor conclui que essas modalidades devem ser considerados no manejo moderno de queimaduras, principalmente em casos com feridas extensas, infectadas ou de cicatrização difícil. Contudo, a adoção mais ampla dessas terapias requer maior geração de evidência científica de alto nível, especialmente estudos prospectivos e ensaios clínicos controlados que comparem diretamente as modalidades com os tratamentos padrão. Por fim, outra inovação no campo dos curativos para queimados é discutida por Lan J, et al. (2023).

O EFS hydrogel, um curativo hidrogelado com microcanais fractais de drenagem contínua, criado com o uso de microsferas de vidro ocas incorporadas à matriz do gel, o qual tem como objetivo resolver o excesso de exsudato comum em queimaduras extensas. Os autores discorrem sobre a eficácia do material atribuída pela organização estrutural das microsferas, a qual confere uma capacidade de absorção de água rápida e sustentada, mesmo sob gotejamento contínuo, ao contrário dos hidrogéis convencionais que perdem eficiência com o tempo. Em comparação com o hidrogel puro e gaze, o EFS demonstrou redução mais rápida da área da ferida, menor edema e desaparecimento precoce da crosta. De maneira geral, esse material representa um avanço significativo no design de curativos para queimaduras, oferecendo absorção rápida, drenagem contínua e desempenho superior na cicatrização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da multiplicidade de estratégias terapêuticas analisadas, conclui-se que o tratamento de queimaduras profundas evolui em direção a uma abordagem cada vez mais personalizada, segura e tecnologicamente avançada. Evidências demonstram que os enxertos autólogos continuam sendo o padrão-ouro, mas os enxertos acelulares — especialmente os derivados de pele de peixe —, as terapias celulares com queratinócitos, fibroblastos e MSCs, e os curativos baseados em nanotecnologia oferecem perspectivas promissoras para acelerar a cicatrização, melhorar a estética da cicatriz e reduzir complicações. Técnicas como desbridamento enzimático, pressão negativa e hidrogéis estruturados reforçam o potencial da terapêutica minimamente invasiva, enquanto os substitutos dérmicos e a bioengenharia tecidual trazem ganhos funcionais duradouros. No entanto, a adoção dessas inovações ainda requer padronização clínica, validação em ensaios multicêntricos e análise de custo-efetividade, para que possam ser integradas com segurança à prática clínica cotidiana.

REFERÊNCIAS

1. ALMEIDA SRV, et al. Perspectivas gerais da cirurgia plástica no tratamento de queimaduras. Cuadernos de Educación y Desarrollo, 2023; 15: 8841-8854.
2. BICALHO FF, et al. Análise do tratamento cirúrgico de queimaduras profundas com enxertos de pele: uma revisão sistemática. Revista Contemporânea, 2024; 11: 13.
3. DOMASZEWSKA-SZOSTEK AP, et al. Local Treatment of Burns With Cell-Based Therapies Tested in Clinical Studies. Journal of Clinical Medicine, 2021; 10: 24.
4. ELDALY AS, et al. Modulation of Burn Hypermetabolism in Preclinical Models. Cureus, 2023; 15: 17.
5. HEMMAMI H, et al. ZnO nanotherapeutics for the treatment of burn wounds: recente advances. Annals of Medicine & Surgery, 2023; 2261-2.
6. HUANG R, et al. Recent advances in nanotherapeutics for the treatment of burn wounds. Burns & Trauma, 2021; 9: 20.
7. IBRAHIM M, et al. Fish skin grafts versus alternative wound dressings in wound care: A systematic review of the Literature. Cureus, 2023; 15: 8.
8. KAREEM NA, et al. Stem Cell Therapy for Burns: Story so Far. Biologics: Targets and Therapy, 2021; 15: 379-397.

9. LAN J, et al. An Enhanced fractal self-pumping dressing with continuous drainage for accelerated burn wound healing. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2023; 11: 7.
10. LENZ M, et al. Availability, effectiveness and safety of cadaveric and fresh allogenic skin grafts in pediatric burn care – a review, 2025; 26: 14.
11. MARKIEWICZ-GOSPODAREK A, et al. Burn wound healing: Clinical complications, medical care, treatment, and dressing types: the current state of knowledge for clinical practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022; 11: 25.
12. NUHIJI E. Trends and innovation in negative pressure wound therapy: A review of burn wound management. *Advances in Wound Care*, 2024; 13: 391-399.
13. RADZIKOWSKA-BÜCHNER E, et al. An overview of recent developments in the management of burn injuries. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023; 24: 59.
14. STAUD CJ, et al. Skin bank establishment in treatment of severe burn injuries: overview and experience with skin allografts at the Vienna Burn Center. *Journal of Clinical Medicine*, 2023; 12: 12.
15. TAPKING C, et al. Enzymatic debridement in geriatric burn patients – A reliable option for selective eschar removal. *Journal of Clinical Medicine*, 2023; 12: 8.
16. VAN DEN BOSCH AS, et al. Outcomes of dermal substitutes in burns and burn scar reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Wound Repair and Regeneration*, 2024; 32: 960-978.
17. VASELLA M, et al. Outcome of facial burn injuries treated by a nanofibrous Temporary epidermal layer. *Journal of Clinical Medicine*, 2023.
18. YASSAGHI Y, et al. Advancements in cell-based therapies for thermal burn wounds: a Comprehensive systematic review of clinical trials outcomes. *Stem Cell Research & Therapy*, 2024; 15: 27.
19. ZANGANEH M, et al. Skin grafting compared with conservative treatment in patients with deep second-degree burn wounds of the trunk and buttocks. *World Journal of Plastic Surgery*, 2021; 81-85.
20. ZWIERELLO W, et al. Burns: Classification, pathophysiology, and treatment: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023; 24: 17.