

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

## Curativos do futuro: como o monitoramento de temperatura e umidade impacta na cicatrização?

Diego Belo Picotti, Fernando Issamu Tabushi, Ronaldo Mafia Cuenca, Orlando Jorge Martins Torres, Nelson Adami Andreollo, Rafael Dib Possiedi, Matheus Toniolo Malafaia, Rafael Berardi, Andrei Lewandowski Kern, Osvaldo Malafaia

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.15801>

Submetido em: 2026-04-10

Postado em: 2026-04-13 (versão 1)

(AAAA-MM-DD)

Artigo de Revisão

## **CURATIVOS DO FUTURO: COMO O MONITORAMENTO DE TEMPERATURA E UMIDADE IMPACTA NA CICATRIZAÇÃO?**

### *WOUND DRESSINGS OF THE FUTURE: HOW DOES TEMPERATURE AND HUMIDITY MONITORING IMPACT WOUND HEALING?*

Diego Belo Picotti<sup>1</sup>, Fernando Issamu Tabushi, Ronaldo Mafia Cuenca<sup>2</sup>, Nelson Adami Andreollo<sup>3</sup>, Orlando Jorge Martins Torres<sup>4</sup>, Rafael Dib Possiedi<sup>5</sup>, Matheus Toniolo Malafaia<sup>1</sup>, Rafael Berardi<sup>1</sup>, Andrei Lewandowski Kern<sup>1</sup>, Osvaldo Malafaia<sup>1</sup>

Afiliação dos autores: <sup>1</sup>Faculdade Evangélica Mackenzie do Paraná, Curitiba, PR, Brasil; <sup>2</sup>Centro de Clínica Cirúrgica, Hospital Universitário de Brasília, Universidade de Brasília, DF, Brasil; <sup>3</sup>Departamento de Cirurgia, Faculdade de Ciências Médicas, Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas SP, Brasil; <sup>4</sup>Departamento de Medicina II, Centro de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, MA, Brasil; <sup>5</sup>Ross Tilley Burn Centre, Sunnybrook Hospital, University of Toronto, Ontario, Canada

#### **ORCID**

Diego Belo Picotti <https://orcid.org/0000-0003-3807-2950>  
Fernando Issamu Tabushi <https://orcid.org/0000-0002-3150-2164>  
Ronaldo Mafia Cuenca - <https://orcid.org/0009-0008-3696-318X>  
Orlando Jorge Martins Torres - <https://orcid.org/0000-0002-7398-5395>  
Nelson Adami Andreollo - <https://orcid.org/0000-0001-7452-1165>  
Rafael Dib Possiedi - <https://orcid.org/0000-0002-3678-7920>  
Matheus Toniolo Malafaia - <https://orcid.org/0000-0002-7893-6883>  
Rafael Berardi - <https://orcid.org/0009-0009-1002-3648>  
Andrei Lewandowski Kern - <https://orcid.org/0009-0006-2155-1567>  
Osvaldo Malafaia - <https://orcid.org/0000-0002-1829-7071>

#### **Correspondência**

Diego Belo Picotti  
Email: [diego.picotti@fempar.edu.br](mailto:diego.picotti@fempar.edu.br)

Conflito de interesse: Nenhum

Financiamento: Em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001

#### **Mensagem Central**

As afecções cutâneas, independentemente de sua duração, continuam sendo importante obstáculo no contexto da prática clínica, impactando diversas áreas e o sistema de saúde como um todo. Assim, atualizar o conhecimento sobre os dispositivos existentes com essa finalidade servirá para orientar futuras pesquisas que venham melhor alicerçar o manuseio de curativos complexos.

## Perspectiva

Com esta revisão reforça-se serem a temperatura e umidade variáveis centrais do microambiente cicatricial e que sua monitorização objetiva pode orientar tanto a pesquisa experimental quanto futuras aplicações clínicas. Embora existam plataformas sofisticadas de curativos inteligentes e biossensores, ainda há espaço relevante para soluções mais acessíveis, reproduzíveis e translacionalmente orientadas.

## Declaração de disponibilidade de dados de pesquisa

Este manuscrito trata-se de uma revisão integrativa e, portanto, não gerou dados primários. Todos os dados utilizados derivam exclusivamente de artigos previamente publicados e disponíveis publicamente em bases científicas, incluindo SciELO, PubMed, Scopus e Google Scholar. Não foram produzidos conjuntos de dados originais, planilhas experimentais, imagens laboratoriais ou qualquer tipo de dado primário que exija depósito em repositório de acesso aberto. Para atender às diretrizes de Ciência Aberta do SciELO Preprints, declaramos que não há dados a serem disponibilizados além das próprias referências citadas, que são de acesso público. Assim, a pesquisa se baseia integralmente em informações secundárias obtidas de literatura científica já publicada, não havendo novos dados a serem compartilhados.

Este artigo como preprint possui endosso do Prof. Dr. Jurandir Marcondes Ribas Filho - <https://orcid.org/0000-0002-5251-7672>

## Contribuição dos autores

Diego Belo Picotti - Conceituação, investigação, metodologia

Fernando Issamu Tabushi - Análise formal, metodologia

Ronaldo Mafia Cuenca - Redação (esboço original)

Orlando Jorge Martins Torres - Redação (esboço original)

Nelson Adami Andreollo - Redação (revisão e edição)

Rafael Dib Possiedi - Redação (revisão e edição)

Matheus Toniolo Malafaia - Conceituação

Rafael Berardi - Conceituação

Andrei Lewandowski Kern - investigação

Oswaldo Malafaia – Administração do projeto

Editor responsável pela revisão:

Jurandir Marcondes Ribas Filho - <https://orcid.org/0000-0002-5251-7672>

**RESUMO - Introdução:** As afecções cutâneas, independentemente de sua duração, continuam sendo importante obstáculo no contexto da prática clínica, impactando diretamente áreas como cirurgia, enfermagem, medicina regenerativa e o sistema de saúde como um todo. **Objetivo:** Atualizar o conhecimento sobre os dispositivos existentes com essa finalidade para orientar futuras pesquisas que venham melhor alicerçar o manuseio de curativos complexos. **Método:** Revisão integrativa feita colhendo informações para leitura e análise a partir de pesquisa *online* em plataformas virtuais, utilizando os seguintes unitermos: “Feridas, queimaduras, cicatrização, biossensores, ESP32, *Bluetooth low energy*, curativos inteligentes” com busca AND ou OR, considerando o título e/ou resumo sendo os escolhidos lidos na íntegra. **Resultado:** O

material para leitura e análise foi selecionado das plataformas SciELO, Google Scholar, Pubmed e Scopus, e considerando-se somente os que tinham maior relação ao tema, aos quais foi feita leitura da íntegra dos textos incluindo-se 34 artigos. **Conclusão:** Esta revisão reforça que temperatura e umidade são variáveis centrais do microambiente cicatricial e que sua monitorização objetiva pode qualificar tanto a pesquisa experimental quanto futuras aplicações clínicas. Também evidenciou que, embora existam plataformas sofisticadas de curativos inteligentes e biossensores, ainda há espaço relevante para soluções mais acessíveis, reproduzíveis e translacionalmente orientadas.

**PALAVRAS-CHAVE** – Feridas. Queimaduras. Cicatrização. Biossensores. ESP32. *Bluetooth Low Energy*. Curativos inteligentes.

**ABSTRACT - Introduction:** Skin conditions, regardless of their duration, remain a significant obstacle in clinical practice, directly impacting areas such as surgery, nursing, regenerative medicine, and the healthcare system as a whole. **Objective:** To update knowledge about existing devices for this purpose to guide future research that will better support the management of complex wound dressings. **Method:** An integrative review was conducted, gathering information for reading and analysis from online research on virtual platforms, using the following keywords: "Wounds, burns, healing, biosensors, ESP32, Bluetooth low energy, smart dressings" with AND or OR search, considering the title and/or abstract, with the selected articles being read in full. **Result:** The material for reading and analysis was selected from the SciELO, Google Scholar, PubMed, and Scopus platforms, considering only those most related to the topic, for which the full texts were read, including 34 articles. **Conclusion:** This review reinforces that temperature and humidity are central variables of the scar microenvironment and that their objective monitoring can enhance both experimental research and future clinical applications. It also highlighted that, although sophisticated smart dressing platforms and biosensors exist, there is still significant room for more accessible, reproducible, and translationally oriented solutions.

**KEYWORDS** – Wounds. Burns. Healing. Biosensors. ESP32. *Bluetooth Low Energy*. Smart dressings.

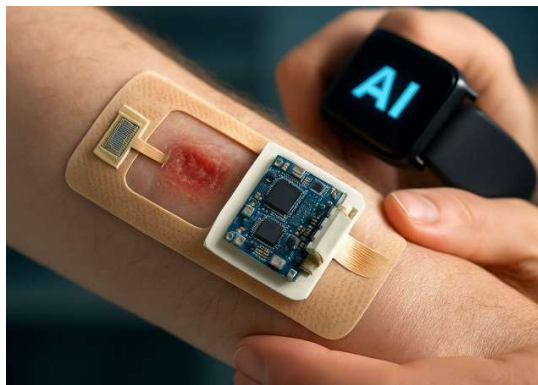
## INTRODUÇÃO

As lesões da pele, tanto aquelas de evolução rápida quanto as de longa duração, ainda representam problema clínico relevante para a cirurgia, enfermagem, medicina regenerativa e saúde pública. Feridas crônicas, incluindo úlceras por pressão, venosas, do pé diabético e as com cicatrização dificultada, estão associadas à dor contínua, limitação das atividades, hospitalizações frequentes e elevados custos no cuidado. Já as queimaduras e outras lesões agudas mais complexas podem desencadear respostas inflamatórias significativas locais e sistêmicas e o aumento do risco de infecção, comprometendo a função de proteção da pele e exigirem monitoramento cuidadoso.<sup>1,2</sup>

A cicatrização é processo dinâmico e multifatorial. Quando ele é interrompido por hipóxia tecidual, infecção, excesso de exsudato, trauma repetitivo, distúrbios metabólicos ou inflamação crônica, a evolução da ferida torna-se mais lenta e menos previsível. Nesse cenário, a avaliação clínica exclusivamente visual pode não ser suficiente para identificar alterações precoces do leito lesionado, especialmente em estudos experimentais que demandam maior padronização e comparabilidade de dados.<sup>3</sup>

Entre os parâmetros mais relevantes do microambiente cicatricial, a temperatura e a umidade ocupam posição central. A primeira reflete, de maneira indireta, a perfusão, o metabolismo e a atividade inflamatória do tecido, enquanto a segunda interfere na migração celular, na atividade enzimática, no equilíbrio do exsudato e no comportamento dos curativos. Leitos demasiadamente secos podem retardar a reepitelização; já a umidade excessiva favorece maceração, desconforto e desequilíbrio local.<sup>4-8</sup>

O avanço de biossensores, materiais flexíveis e sistemas embarcados induz ao surgimento de curativos e plataformas inteligentes capazes de medir pH, temperatura, umidade, oxigenação e outros biomarcadores em tempo quase real (Figura 1).



**FIGURA 1-** Curativo inteligente com biossensores

Apesar desse progresso, grande parte das soluções descritas na literatura ainda enfrenta barreiras relacionadas ao custo, fragilidade mecânica, complexidade de fabricação, dependência de infraestrutura laboratorial e dificuldade de transposição para cenários experimentais mais simples e de baixo custo.<sup>9,10</sup>

Assim, a revisão dos dispositivos existentes com essa finalidade é oportuna para orientar futuras pesquisas que venham melhor alicerçar o manuseio de curativos complexos que são muito dispendiosos e dolorosos no seu manuseio.

## MÉTODO

Esta é uma revisão integrativa feita colhendo informações para leitura e análise a partir de pesquisa *online* em plataformas virtuais. Inicialmente foi realizada busca por descritores DECs relacionados ao tema, utilizando os seguintes termos: “Feridas, queimaduras, cicatrização, biossensores, ESP32, *Bluetooth low energy*, curativos inteligentes.” com busca AND ou OR, considerando o título e/ou resumo e os escolhidos foram lidos na íntegra. O material para leitura e análise foi selecionado das plataformas SciELO, Google Scholar, Pubmed e Scopus. Após, considerando-se somente os que tinham maior relação ao tema, foi realizada a leitura da íntegra dos textos incluindo-se 34 artigos.

## DISCUSSÃO

### **Feridas, queimaduras e relevância clínica**

Feridas crônicas são usualmente definidas como lesões que falham em progredir pelas etapas fisiológicas de cicatrização em tempo esperado, tornando-se estagnadas em estado inflamatório persistente. A prevalência populacional dessas lesões não é desprezível e tende a aumentar em contextos de envelhecimento, diabetes, insuficiência vascular, imobilidade e maior sobrevida de pacientes complexos. Além do sofrimento individual, há impacto expressivo sobre custos diretos e indiretos na saúde, uso de materiais especializados e carga sobre cuidadores e aos sistemas assistenciais.<sup>11-13</sup>

O ônus dessas lesões vai além do gasto hospitalar. Feridas de longa duração afetam mobilidade, sono, autoimagem, produtividade e saúde mental. Dor, odor, exsudato e restrições sociais são frequentemente descritos como determinantes de pior qualidade de vida. Assim, ferramentas que permitam avaliação mais objetiva e contínua podem colaborar tanto para decisões terapêuticas quanto para padronização de estudos clínicos e experimentais.<sup>15,16</sup>

As queimaduras merecem menção específica mesmo quando o foco principal recai sobre outras feridas, porque representam lesões agudas que alteram de forma intensa o microambiente cutâneo. Em queimados, a progressão local da lesão, a perda da barreira epidérmica, a exsudação, a colonização microbiana e a dinâmica térmica da pele tornam a monitorização do leito especialmente relevante. Além disso, muitos princípios de controle de temperatura, umidade e escolha de cobertura compartilhados pelas feridas crônicas também se aplicam às queimaduras superficiais e profundas.<sup>17,18</sup>

Em modelos experimentais, a necessidade de monitorização objetiva é ainda mais evidente. Pequenas variações em hidratação tecidual, temperatura local, contato do curativo e resposta inflamatória podem modificar a interpretação dos resultados biológicos. Por isso, dispositivos capazes de registrar parâmetros fisiológicos de modo contínuo e repetitivos podem reduzir variabilidade e oferecer complemento importante à observação macroscópica tradicional.

### **Microambiente cicatricial: temperatura e umidade**

A temperatura do leito da ferida tem sido investigada como marcador clínico de perfusão, inflamação, atividade celular e possível infecção. Revisões recentes indicam que ainda não há consenso absoluto sobre a faixa considerada normal para todos os tipos de feridas, mas está bem estabelecido que alterações térmicas locais carregam valor interpretativo importante. Aumento de temperatura pode sinalizar processo inflamatório exacerbado ou infecção; queda persistente pode sugerir hipoperfusão, necrose ou interrupção de atividade reparativa.<sup>5,19</sup> Estudos observacionais também mostraram associação entre temperatura periférica da lesão e desfechos cicatriciais. Em úlceras por pressão, por exemplo, padrões térmicos perilesionais podem se correlacionar com probabilidade de fechamento. Em outros cenários, diferenças de temperatura entre o centro da ferida e a pele adjacente ajudam a construir hipóteses sobre evolução favorável ou desfavorável da lesão.<sup>6,20</sup>

A umidade, por sua vez, é componente clássico do conceito de *moist wound healing*. Leito adequadamente úmido favorece migração de queratinócitos, atividade de fibroblastos, ação de fatores de crescimento e menor formação de crosta rígida. Entretanto, umidade excessiva pode produzir maceração perilesional, aumento do desconforto e pior desempenho de determinados curativos. Assim, o objetivo terapêutico não é simplesmente manter a ferida úmida, mas sim sustentar equilíbrio hídrico

compatível com o estágio e o tipo da lesão.<sup>7,8,21</sup> Do ponto de vista tecnológico, medir umidade no contexto de feridas não é trivial. O parâmetro pode refletir exsudato, saturação do curativo, trocas gasosas locais e até o grau de vedação da interface entre dispositivo e cobertura. Por isso, sensores de umidade, quando utilizados em plataformas vestíveis ou embarcadas, precisam ser interpretados dentro de arquitetura que considere também o tipo de curativo, o tempo de uso e a dinâmica de troca do material, baseada não só na avaliação clínica, mas também em qualificá-la com dados objetivos e seriados.

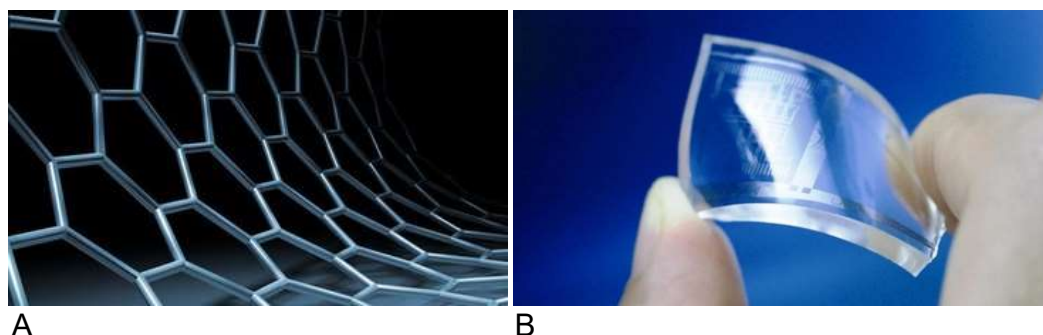
A integração entre temperatura e umidade oferece vantagem adicional. Enquanto um parâmetro isolado pode sofrer influência de fatores externos, a leitura combinada dos dois produz visão mais robusta do microambiente. Em estudos de sensores vestíveis, esse raciocínio aparece de forma recorrente: a interpretação multimodal tende a ser mais útil do que a dependência de um único biomarcador.<sup>9,20-22</sup>

### **Curativos, coberturas e materiais avançados**

O curativo ideal deve proteger a ferida, manejar o exsudato, preservar umidade terapêutica, minimizar trauma na troca e permitir, sempre que possível, acompanhamento do estado da lesão. Na prática, não existe cobertura universalmente superior para todos os tipos de ferida; a escolha depende da profundidade, exsudação, risco infeccioso, localização anatômica e objetivo clínico. Hidrocoloides, hidrogéis, espumas, filmes semipermeáveis, alginatos, gaze não aderente e formulações com prata ou colágeno são exemplos de estratégias amplamente empregadas.<sup>17,23</sup>

A incorporação de sensores aos curativos inaugurou o conceito de curativos inteligentes ou *smart dressings*. Nesses sistemas, a cobertura deixa de ser apenas elemento passivo e passa a funcionar também como plataforma de detecção, comunicação e, em alguns casos, liberação responsiva de agentes terapêuticos. Tal evolução é particularmente atraente para feridas complexas e queimaduras, nas quais o intervalo entre avaliações clínicas pode ser suficiente para perda de informação relevante sobre o comportamento local da lesão.<sup>24-26</sup>

Entre os materiais avançados, o grafeno e seus derivados (Figura 2) têm recebido atenção crescente. Seu interesse biomédico decorre de propriedades mecânicas, elétricas e de superfície que favorecem o desenvolvimento de sensores flexíveis, materiais antimicrobianos e coberturas com possibilidade de resposta funcional ampliada.



**FIGURA 2** – Grafeno, considerado o futuro da tecnologia: A) estrutura do grafeno; B) curativo demonstrativo de grafeno

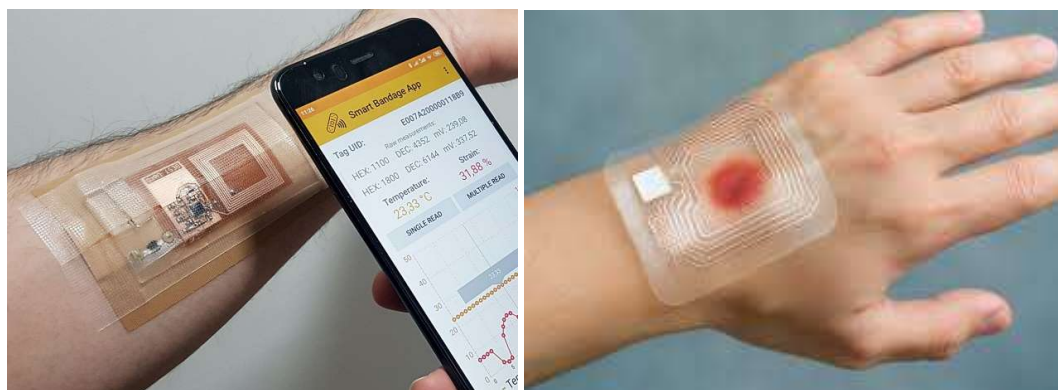
A literatura recente descreve tanto sensores vestíveis baseados em grafeno para monitorização térmica quanto curativos contendo grafeno voltados à cicatrização e ao controle de infecção.<sup>27-29</sup> É importante ressaltar, entretanto, que a menção ao grafeno tem ainda carácter prospectivo e de compatibilidade conceitual, não de validação já concluída.

Dispositivo ideal deve respeitar, e ser barreira de proteção, em diferentes tipos de curativo, desde coberturas convencionais até materiais avançados com interface inteligente. Em outras palavras, um curativo ideal deve ser adaptável aos múltiplos cenários de cobertura.

Nesse ponto, a proteção dos componentes eletrônicos torna-se central. O uso de membrana ou filtro em PTFE, por exemplo, pode funcionar como barreira física contra umidade direta e contaminação particulada, sem impedir totalmente trocas gasosas e ventilação local. Em plataformas miniaturizadas colocadas próximas ao curativo, esse tipo de proteção ajuda a preservar o circuito sem descaracterizar o objetivo de monitorização do microambiente.

### Dispositivos inteligentes para monitorização de feridas

A literatura recente evidencia expansão acelerada das tecnologias de monitorização de feridas. Sensores eletroquímicos e ópticos, sistemas flexíveis, plataformas vestíveis e arranjos sem fio vêm sendo propostos para detectar pH, temperatura, umidade, oxigênio, glicose, metabólitos e compostos associados à infecção. O racional comum é reduzir subjetividade, ampliar sensibilidade para alterações precoces e apoiar decisões terapêuticas mais oportunas (Figura 3).<sup>30,31</sup>



A  
Foto: Best Group/University of Glasgow

B  
Foto: The Brew News Team/April 9/2026

**FIGURA 3** – Novos curativos inteligentes onde as leituras podem ser enviadas à profissional de saúde por meio de aplicativo para smartphone: A) mede simultaneamente temperatura e pressão exercida sobre a pele; B) curativo permite acompanhar o processo de cicatrização das feridas

No entanto, a distância entre prova de conceito e aplicação prática ainda é expressiva. Muitos sistemas demonstraram excelente desempenho analítico em ambiente controlado, mas enfrentaram desafios quando submetidos ao uso prolongado, deformação mecânica, troca de curativos, autonomia energética e necessidade de comunicação estável com dispositivos externos. Além disso, soluções laboratoriais

sofisticadas nem sempre são viáveis em contextos experimentais rotineiros ou em cenários de menor disponibilidade de recursos.

Nesse sentido, dispositivos baseados em microcontroladores comerciais, sensores digitais consolidados e aplicativos móveis representam alternativa interessante. Embora menos complexos que algumas plataformas de ponta, eles podem atingir equilíbrio mais favorável entre custo, robustez, facilidade de reprodutibilidade e iteratividade do desenvolvimento. Para pesquisa translacional, essa simplicidade relativa pode ser uma virtude, pois facilita replicação do protótipo, manutenção local e adaptação progressiva.

Outro aspecto relevante é a comunicação sem fio. Sistemas baseados em *Bluetooth Low Energy* permitem configuração e leitura em tempo real com baixo consumo energético, enquanto a conectividade Wi-Fi amplia possibilidades de sincronização remota, envio de relatórios e armazenamento distribuído. Quando acoplados a aplicativos móveis, tais recursos permitem ao pesquisador visualizar dados instantaneamente, registrar histórico, exportar informações e organizar o experimento de forma mais estruturada, sem competir com plataformas laboratoriais altamente especializadas, mas oferecer um sistema enxuto, funcional e progressivamente refinável, baseado em componentes amplamente disponíveis e em arquitetura aberta o suficiente para futuras extensões, inclusive algoritmos de alerta e síntese automatizada dos dados.

### **Modelos experimentais e aplicabilidade translacional**

O uso de modelos animais permanece relevante para o estudo de cicatrização, queimaduras, biomateriais e desempenho de dispositivos aplicados ao leito da ferida. Roedores, especialmente ratos Wistar, são amplamente utilizados por sua disponibilidade, custo, facilidade de manejo e corpo de literatura acumulada. Em queimaduras experimentais, por exemplo, a padronização do método de indução da lesão é crucial para reduzir vieses na resposta biológica observada.<sup>32-34</sup>

Modelos de ferida também são úteis para avaliar se o próprio dispositivo interfere na evolução cicatricial, se suas medições se mantêm estáveis ao longo do tempo e se os valores observados guardam coerência com sinais macroscópicos do processo inflamatório e reparativo.

A perspectiva translacional decorre desse encadeamento lógico. Primeiro, desenvolve-se e estabiliza-se o protótipo. Em seguida, testa-se sua operação em bancada. Posteriormente, verifica-se seu comportamento em modelo animal controlado. Somente após essas etapas torna-se metodologicamente defensável discutir adaptação clínica para seres humanos.

Essa cautela é particularmente importante quando se lida com dispositivos em contato próximo ao curativo. Questões de esterilidade, biocompatibilidade, conforto, fixação, autonomia, proteção contra fluidos e conformidade regulatória precisam ser amadurecidas progressivamente.

## **CONCLUSÃO**

Esta revisão reforça que temperatura e umidade são variáveis centrais do microambiente cicatricial e que sua monitorização objetiva pode qualificar tanto a pesquisa experimental quanto futuras aplicações clínicas. Também evidenciou que, embora existam plataformas sofisticadas de curativos inteligentes e biossensores, ainda

há espaço relevante para soluções mais acessíveis, reproduzíveis e translacionalmente orientadas. Os curativos inteligentes representam inovação promissora na área da saúde, integrando eletrônica embarcada, sensores e conectividade para monitorar feridas em tempo real. No entanto, sua ampla adoção ainda enfrenta desafios importantes. Entre eles, destaca-se a miniaturização e flexibilidade dos circuitos, fundamentais para garantir conforto ao paciente e adaptação às diferentes regiões do corpo sem comprometer o desempenho dos dispositivos. Além disso, a segurança e privacidade dos dados tornam-se essenciais, uma vez que informações sensíveis de saúde são coletadas e transmitidas continuamente para aplicativos móveis e sistemas clínicos. Dessa forma, embora os curativos inteligentes apresentem grande potencial, seu avanço depende da superação conjunta de desafios tecnológicos, econômicos e regulatórios.

## REFERÊNCIAS

1. Carter MJ, DaVanzo J, Haught R, Nusgart M, Cartwright D, Fife CE. Chronic wound prevalence and the associated cost of treatment in Medicare beneficiaries: changes between 2014 and 2019. *J Med Econ*. 2023 Jan-Dec;26(1):894-901. doi: 10.1080/13696998.2023.2232256
2. Díaz-Herrera MÁ, González-Durán M, Rodríguez-Martínez FJ, Trujillo-Flores G, Tuset-Mateu N, Verdú-Soriano J, et al. The financial burden of chronic wounds in primary care: A real-world data analysis on cost and prevalence. *Int J Nurs Stud Adv*. 2025;8:100313. doi:10.1016/j.ijnsa.2025.100313
3. Huang J, Fan C, Ma Y, Huang G. Exploring Thermal Dynamics in Wound Healing: The Impact of Temperature and Microenvironment. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 2024 May 28;17:1251-1258. doi: 10.2147/CCID.S468396
4. Mota FAR, Passos MLC, Santos JLM, Saraiva MLMFS. Comparative analysis of electrochemical and optical sensors for detection of chronic wounds biomarkers: A review. *Biosens Bioelectron*. 2024 May 1;251:116095. doi: 10.1016/j.bios.2024.116095
5. Gethin G, Ivory JD, Sezgin D, Muller H, O'Connor G, Vellinga A. What is the "normal" wound bed temperature? A scoping review and new hypothesis. *Wound Repair Regen*. 2021 Sep;29(5):843-847. doi: 10.1111/wrr.12930
6. Derwin R, Patton D, Strapp H, Moore Z. Wound pH and temperature as predictors of healing: an observational study. *J Wound Care*. 2023 May 2;32(5):302-310. doi: 10.12968/jowc.2023.32.5.302
7. Bishop SM, Walker M, Rogers AA, Chen WY. Importance of moisture balance at the wound-dressing interface. *J Wound Care*. 2003 Apr;12(4):125-8. doi: 10.12968/jowc.2003.12.4.26484
8. Okan D, Woo K, Ayello EA, Sibbald G. The role of moisture balance in wound healing. *Adv Skin Wound Care*. 2007 Jan;20(1):39-53. <https://doi.org/10.1097/00129334-200701000-00013>
9. Youssef K, Ullah A, Rezai P, Hasan A, Amirfazli A. Recent advances in biosensors for real time monitoring of pH, temperature, and oxygen in chronic wounds. *Mater Today Bio*. 2023 Aug 19;22:100764. doi: 10.1016/j.mtbio.2023.100764
10. Vo D-K, Trinh KTL. Advances in Wearable Biosensors for Wound Healing and Infection Monitoring. *Biosensors*. 2025; 15(3):139. <https://doi.org/10.3390/bios15030139>
11. Martinengo L, Olsson M, Bajpai R, Soljak M, Upton Z, Schmidtchen A, et al. Prevalence of chronic wounds in the general population: systematic review and meta-analysis of observational studies. *Ann Epidemiol*. 2019 Jan;29:8-15. doi: 10.1016/j.annepidem.2018.10.005
12. Olsson M, Järbrink K, Divakar U, Bajpai R, Upton Z, Schmidtchen A, Car J. The humanistic and economic burden of chronic wounds: A systematic review. *Wound Repair Regen*. 2019 Jan;27(1):114-125. doi: 10.1111/wrr.12683
13. Redmond MC, Gethin G, Finn DP. A Review of Chronic Wounds and Their Impact on Negative Affect, Cognition, and Quality of Life. *Int Wound J*. 2025 Aug;22(8):e70748. doi: 10.1111/iwj.70748
14. Eckert KA, Fife CE, Carter MJ. The Impact of Underlying Conditions on Quality-of-Life Measurement Among Patients with Chronic Wounds, as Measured by Utility Values: A Review with an Additional Study. *Adv Wound Care (New Rochelle)*. 2023 Dec;12(12):680-695. doi: 10.1089/wound.2023.0098
15. Dantas JS, Teófilo TJS, Silva Junior SVD, Nascimento NCD, Eloy RAL, Silva ACOE, et al. Outcome Measures of Quality of Life for People With Chronic Wounds: A Scoping Review. *J Wound Ostomy Continence Nurs*. 2025 May-Jun 01;52(3):198-204. doi: 10.1097/WON.0000000000001170
16. Abazari M, Ghaffari A, Rashidzadeh H, Badeleh SM, Maleki Y. A Systematic Review on Classification, Identification, and Healing Process of Burn Wound Healing. *Int J Low Extrem Wounds*. 2022 Mar;21(1):18-30. doi: 10.1177/1534734620924857
17. Atiyeh BS, Gunn SW, Hayek SN. State of the art in burn treatment. *World J Surg*. 2005 Feb;29(2):131-48. doi: 10.1007/s00268-004-1082-2

18. Huang J, Fan C, Ma Y, Huang G. Exploring Thermal Dynamics in Wound Healing: The Impact of Temperature and Microenvironment. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 2024 May 28;17:1251-1258. doi: 10.2147/CCID.S468396
19. Lin YH, Chen YC, Cheng KS, Yu PJ, Wang JL, Ko NY. Higher Periwound Temperature Associated with Wound Healing of Pressure Ulcers Detected by Infrared Thermography. *J Clin Med*. 2021 Jun 29;10(13):2883. doi: 10.3390/jcm10132883
20. Bruno W, Kerstein MD. Moist wound healing: current concepts and applications. *Surg Technol Int*. 1994;3:37-43. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21319071/>
21. Milne SD, Seoudi I, Al Hamad H, Talal TK, Anoop AA, Allahverdi N, et al. A wearable wound moisture sensor as an indicator for wound dressing change: an observational study of wound moisture and status. *Int Wound J*. 2016 Dec;13(6):1309-1314. doi: 10.1111/iwj.12521
22. Tang N, Zheng Y, Jiang X, Zhou C, Jin H, Jin K, Wu W, Haick H. Wearable Sensors and Systems for Wound Healing-Related pH and Temperature Detection. *Micromachines (Basel)*. 2021 Apr 14;12(4):430. doi: 10.3390/mi12040430
23. Nasra S, Patel M, Shukla H, Bhatt M, Kumar A. Functional hydrogel-based wound dressings: A review on biocompatibility and therapeutic efficacy. *Life Sci*. 2023 Dec 1;334:122232. doi: 10.1016/j.lfs.2023.122232
24. O'Callaghan S, Galvin P, O'Mahony C, Moore Z, Derwin R. 'Smart' wound dressings for advanced wound care: a review. *J Wound Care*. 2020 Jul 2;29(7):394-406. doi: 10.12968/jowc.2020.29.7.394
25. Joorabloo A, Liu T. Smart theranostics for wound monitoring and therapy. *Adv Colloid Interface Sci*. 2024 Aug;330:103207. doi: 10.1016/j.cis.2024.103207
26. Kumar M, Sethi P, Shiekmydeen J, Rastogi S, Mahmood S, Chopra S, et al. A recent review on smart sensor-integrated wound dressings: Real-time monitoring and on-demand therapeutic delivery. *Int J Biol Macromol*. 2025 Jun;313:144251. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.144251
27. Liu J, Wang Y, Li X, Wang J, Zhao Y. Graphene-Based Wearable Temperature Sensors: A Review. *Nanomaterials*. 2023 Aug 15;13(16):2339. <https://doi.org/10.3390/nano13162339>
28. Shariati A, Hosseini SM, Chegini Z, Seifalian A, Arabestani MR. Graphene-Based Materials for Inhibition of Wound Infection and Accelerating Wound Healing. *Biomed Pharmacother*. 2023 Feb;158:114184. doi: 10.1016/j.biopha.2022.114184
29. Zhang S, Jiang T, Li M, Sun H, Wu H, Wu W, et al. Graphene-Based Wound Dressings for Wound Healing: Mechanism, Technical Analysis, and Application Status. *ACS Biomater Sci Eng*. 2024 Nov 11;10(11):6790-6813. doi: 10.1021/acsbomaterials.4c01142
30. Mota FAR, Passos MLC, Santos JLM, Saraiva MLMFS. Comparative analysis of electrochemical and optical sensors for detection of chronic wounds biomarkers: A review. *Biosens Bioelectron*. 2024 May 1;251:116095. doi: 10.1016/j.bios.2024.116095
31. Bao S, Wang Y, Yao L, Chen S, Wang X, Luo Y, et al. Research trends and hot topics of wearable sensors in wound care over past 18 years: A bibliometric analysis. *Heliyon*. 2024;10(20):e38762. doi:10.1016/j.heliyon.2024.e38762
32. Mitsunaga Junior JK, Gragnani A, Ramos MLC, Ferreira LM. Rat an experimental model for burns: A systematic review. *Acta Cir Bras*. 2012 Jun;27(6):417-23. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0102-86502012000600010>
33. Cai EZ, Ang CH, Raju A, Tan KB, Hing EC, Loo Y, et al. Creation of consistent burn wounds: a rat model. *Arch Plast Surg*. 2014 Jul;41(4):317-24. doi: 10.5999/aps.2014.41.4.317
34. Shukla SK, Sharma AK, Shaw P, Kalonia A, Yashavardhan MH, Singh S. Creation of rapid and reproducible burn in animal model with a newly developed burn device. *Burns*. 2020 Aug;46(5):1142-1149. doi: 10.1016/j.burns.2019.12.005

## Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença [Creative Commons CC-BY](#).
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.