ACTA SCIENTIFIC SCIENCES

Artigo de Revisão
ISSN: 3086-0008

AVANÇOS NA ENGENHARIA DE TECIDOS PARA CICATRIZAÇÃO CUTÂNEA: O PAPEL DOS BIOMATERIAIS

https://doi.org/10.64671/acta.v1i2.14

Raquel da Silva Cavalcante[1], Jaiurte Gomes Martins da Silva[2], Vivianne Soares Domingos da Silva[3], Ellen Cristina Barbosa dos Santos[4], Gabrielly Laís de Andrade Souza[5], Maria da Conceição Cavalcanti de Lira[6], Augusto César Barreto Neto[7], Glícia Maria de Oliveira[8]

1. Mestre em Biologia Aplicada à Saúde - Universidade Federal de Pernambuco
2. Doutor em Biociência Animal - Universidade Federal de Alagoas
3. Enfermeira - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória
4. Doutora em Enfermagem - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória
5. Doutora em Saúde da Criança e do Adolescente - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória
6. Doutora em Ciências Farmacêuticas - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória
7. Doutor em Saúde da Criança e do Adolescente - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória
8. Doutora em Inovação Terapêutica - Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico da Vitória

Recebido: agosto 31, 2025 | **Aceite:** setembro 22, 2025 | **Publicado:** outubro 22, 2025

RESUMO

A pele é um órgão vital que atua como barreira protetora contra agentes externos, regula a homeostase e a temperatura corporal. Lesões que comprometem sua integridade podem levar a complicações graves e à morte. O processo natural de cicatrização, dividido em fases de coagulação, inflamação, proliferação e remodelação, pode ser interrompido por fatores locais ou sistêmicos, resultando em feridas crônicas. A Engenharia de Tecidos (ET) surge como uma abordagem promissora para superar essas limitações, desenvolvendo substitutos cutâneos que mimetizam a estrutura e função da pele nativa.Este artigo, baseado em uma revisão narrativa da literatura, descreve os avanços tecnológicos e as vantagens da ET para a regeneração da pele. O trabalho discute os fundamentos da ET, que utiliza scaffolds tridimensionais para imitar a matriz extracelular (MEC), proporcionando suporte para a adesão, proliferação e diferenciação celular. A seleção do biomaterial ideal é crucial, exigindo propriedades como biocompatibilidade, biodegradabilidade, porosidade e resistência mecânica adequada. São explorados os polímeros naturais, como a celulose bacteriana (CB) que se destaca por sua alta pureza, capacidade de absorção de água e estrutura nanofibrosa similar à MEC e os polímeros sintéticos, como o álcool polivinílico (PVA), valorizado por sua hidrofilicidade, biocompatibilidade e facilidade de modificação. Conclui-se que a combinação de materiais, formando compósitos, representa a fronteira mais avançada para criar scaffolds multifuncionais e eficazes, capazes de promover a cicatrização ideal de feridas agudas e crônicas.

Palavras-Chave: Engenharia de tecidos; Cicatrização de feridas; Biomateriais; Celulose bacteriana; Álcool polivinílico.

***Autor Correspondente:** viviannesoaressilva@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A pele protege o organismo contra agentes tóxicos e microrganismos, além de manter a temperatura e umidade ideais para o corpo. (Kabashima et al., 2019; Wang et al., 2019). Ela desempenha importante função na homeostase dos fluidos e promove funções sensoriais e regulação térmica. Danos ou perda da integridade da pele decorrente de uma lesão ou doença podem levar a morbidade significativa e até mesmo à morte (Rosique; Rosique; Farina Junior, 2015). A pele é composta essencialmente por três camadas. A camada superior é a epiderme, a camada abaixo da epiderme é a derme e a terceira e mais profunda camada é o tecido subcutâneo (Borena et al., 2015). A epiderme oferece uma barreira à prova d'água, consiste em uma constelação específica de células conhecidas como queratinócitos que contribui para o tom da pele. A derme é formada por tecido conjuntivo, folículos pilosos, vasos sanguíneos, vasos linfáticos e glândulas sudoríparas. O tecido subcutâneo mais profundo (hipoderme) é composto de gordura e tecido conjuntivo. (Kolarsick; Kolarsick; Goodwin, 2011)

Lesões graves à pele podem, portanto, ser fatais. A cicatrização de uma ferida na pele é resultado de um extraordinário mecanismo de função celular que é intrínseco por natureza. O processo de reparo inclui a comunicação de células, fatores de crescimento e citocinas que compreendem o fechamento da lesão (Borena et al., 2015).

O processo de cicatrização das feridas é dividido em quatro fases: a fase de coagulação, a de inflamação, a proliferativa e a fase de remodelação. No entanto, algumas lesões podem não cicatrizar ordenadamente. Fatores sistêmicos ou locais podem desestabilizar o microambiente e interferir no processo de reparo, retardando o processo de cicatrização, levando a feridas crônicas ou mesmo sem cicatrização (Luo et al., 2021).

Muitos esforços estão sendo direcionados para criar materiais substitutos que simulem a pele humana. Esses substitutos da pele foram possíveis através de abordagens avançadas da engenharia de tecidos (ET) e têm sido usados para aplicações clínicas, promovendo a cicatrização de feridas agudas e crônicas. Na ET da pele, vários materiais biológicos e sintéticos são associados com células cultivadas in vitro para gerar tecidos funcionais (Groeber et al., 2011). Com isso, o artigo tem como objetivo descrever os avanços tecnológicos e suas vantagens para a ET.

2 METODOLOGIA

Este artigo baseia-se na revisão de literatura do tipo narrativa, que se trata de publicações amplas, adequadas para relatar e discutir o desenvolvimento ou o "estado da arte" de uma determinada temática, sob ponto de vista teórico ou contextual. As revisões narrativas não descrevem a metodologia para busca das referências, nem os critérios utilizados na avaliação e seleção dos trabalhos (Rother, 2007). Tendo em conta a temática em estudo, foram incluídas outras publicações, guidelines e artigos de opinião. Esta revisão narrativa foi distribuída em tópicos, discutindo em cada um a respeito dos respectivos temas: engenharia de tecidos; biomateriais; polímeros naturais e sintéticos. Essa divisão didática foi adotada objetivando promover uma melhor compreensão do assunto

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Engenharia de tecido

O termo "engenharia de tecidos" (ET) foi utilizado pela primeira vez em 1987 (Langer; Vacanti, 1993). A ET lançou uma nova via de substituição de tecidos e órgãos humanos que entusiasmou o campo da medicina regenerativa. O objetivo final da ET é elaborar substitutos totalmente funcionais para tecidos ou órgãos lesionados (Boccaccini; Ma; Liverani, 2021). A ET é definida como uma metodologia confiável para restaurar as lesões teciduais, que reproduz o microambiente fisiológico (Rahmati et al., 2021). A ET e a medicina regenerativa revelaram-se como novos campos biomédicos que compreendem abordagens avançadas para regeneração e cicatrização de tecidos lesados (Pina et al., 2019).

Pesquisadores de várias áreas, como medicina, nanotecnologia, biologia e engenharia, estão se dedicando em estreita colaboração para incorporar as suas descobertas em uma tecnologia moderna para simular os tecidos naturais (Fathi-Achachelouei et al., 2019). Para sintetizar um tecido funcional, as características projetadas devem ser capazes de imitar a matriz extracelular (MEC), permitir a passagem de oxigênio e circulação de nutrientes ao tecido, bem como remover resíduos metabólicos no período de regeneração do tecido. Empenhos contínuos têm sido feitos para produzir *scaffolds* tridimensionais funcionais avançados para engenharia de tecidos (Rahmati et al., 2021).

As células teciduais necessitam essencialmente de estarem fixadas em uma superfície sólida para assegurar a sua viabilidade e crescimento. Desta forma, o papel de um *scaffold* na ET é crucial, pois orienta a proliferação do neotecido. O *scaffold* objetiva substituir temporariamente a matriz

extracelular nativa (ECM) do tecido de interesse (Asadi et al., 2020). Diversas estratégias são utilizadas na ET como terapias baseadas em células, órgãos artificiais e tecidos vivos modificados e estes possuem raízes no design adequado de biomateriais multifuncionais com ótimas propriedades físico-químicas (Ayoub; Lucia, 2017).

Os biomateriais são aplicados para a avaliação, tratamento, aumento, reparação ou substituição de tecidos ou órgãos do corpo. Materiais alternativos anteriores são em sua maioria bioinertes (biologicamente inertes), e esses materiais interagem pouco com os tecidos circundantes e podem ser inclusive citotóxicos (Qu et al., 2019a). Uma das adversidades recentes do campo da engenharia de tecidos é arquitetar biomateriais adequados para simular efetivamente a MEC nativa (Asadi et al., 2020). Um biomaterial ideal deve ser atóxico, reprodutível, biodegradável e bioativo. Devido às diversas necessidades dos *scaffolds,* os materiais compósitos formados pela associação de dois ou mais materiais com ótimas propriedades de resistência, biocompatibilidade e biodegradabilidade são amplamente utilizados na engenharia de tecidos (Qu et al., 2019a).

3.2 Biomateriais

O Instituto Nacional de Saúde Americana define o biomaterial como qualquer substância ou combinação de substâncias, exceto drogas, de proveniência sintética ou natural, que pode ser aplicada por qualquer intervalo de tempo, que aumenta ou substitui parcial ou totalmente qualquer tecido, órgão ou função do corpo, a fim de preservar ou melhorar a qualidade de vida do indivíduo (Bergmann; Stumpf, 2013).

As principais qualidades dos biomateriais são biocompatibilidade, biodegradabilidade, propriedades mecânicas satisfatória, porosidade ajustável, promover a adesão, proliferação e diferenciação de células em sua superfície, possibilidade de integração com o tecido circundante, esterilizabilidade e ausência de toxicidade (Kalirajan et al., 2021). Ademais, as características microestruturais dos *scaffolds*, como tamanho dos poros, porosidade e interconectividade dos poros, têm importante participação na difusão de oxigênio, nutrientes, adesão e migração celular que devem ser analisadas na engenharia de tecidos (Liu et al., 2016).

Os materiais utilizados para produzir os *scaffolds* podem ser metais, polímeros, cerâmicas ou combinações dos mesmos, conforme a finalidade de cada aplicação. Esses materiais interagem com células vivas para favorecer a reconstituição dos tecidos (Terzopoulou et al., 2022).

Os biomateriais são materiais com a capacidade de interagir com sistemas biológicos para ajudar os processos de reparação e regeneração. O uso de polímeros na fabricação de biomateriais é

praticado há mais de meia década (Abdullah Shukry et al., 2014; Ahmed; Lalia; Hashaikeh, 2015; Jatoi; Kim; Ni, 2019; Villarreal-Gómez et al., 2021). A variedade de propriedades químicas e funcionais dos polímeros permite a criação de estruturas orientadas para aplicações biomédicas específicas. Os polímeros utilizados para a preparação dos biomateriais se encaixam em duas categorias, a saber, naturais ou sintéticos (Chahal; Kumar; Hussian, 2019).

3.3 Polímeros naturais e sintéticos

Os polímeros naturais são materiais obtidos de sistemas biológicos, como plantas, microrganismos, algas e animais. Esses polímeros são sintetizados por processos enzimáticos ou por fermentação de microrganismos. São amplamente utilizados na administração de medicamentos, cosméticos, cicatrização de feridas e engenharia de tecidos (Asadi et al., 2020). Os polímeros naturais também são úteis na fabricação de biomateriais devido à sua biocompatibilidade e baixas propriedades imunogênicas (Kalirajan et al., 2021).

Entretanto, os polímeros naturais também apresentam muitos desafios, incluindo sua baixa resistência mecânica e alto risco de contaminação com espécies microbianas como bactérias e fungos. Algumas pessoas também podem desenvolver uma reação alérgica a polímeros naturais, pois são obtidos de diferentes fontes animais. A produção em larga escala de polímeros naturais também é outro desafio enfrentado e a customização de suas propriedades é laboriosa (Austin; Rosales, 2019).

Os polímeros sintéticos são os melhores substitutos para pacientes com reação alérgica a polímeros naturais. Os polímeros sintéticos apresentam menos efeitos imunogênicos e não costumam causar inflamação imunogênica crônica. Os polímeros sintéticos também são conhecidos por terem melhores qualidades mecânicas quando comparados aos polímeros naturais (Kalirajan et al., 2021). A biodegradabilidade dos polímeros sintéticos também pode ser melhorada e isso os transformam adequados para aplicações de engenharia de tecidos. Diversos polímeros sintéticos, por exemplo, ácido poliláctico (PLA), álcool polivinílico (PVA), policaprolactona (PCL) e ácido poliláctico-co-glicólico (PLGA), são vastamente estudados devido o potencial de aplicabilidade biomédica (Kanimozhi; Khaleel Basha; Sugantha Kumari, 2016). Os organismos vivos têm a capacidade de sintetizar diversos grupos de polímeros que de acordo com a sua estrutura química são classificados em três grupos: proteínas, polissacarídeos e polinucleotídeos (Asadi et al., 2020).

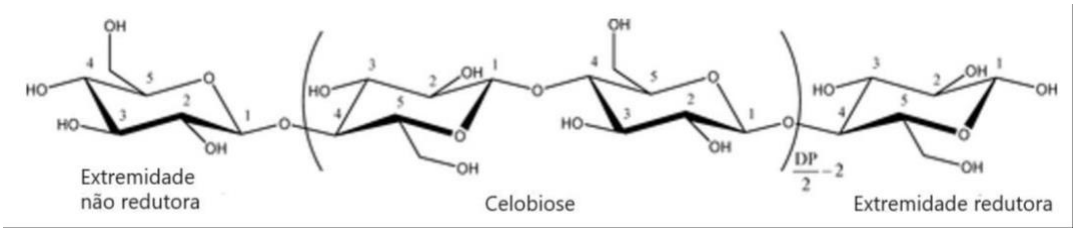
A celulose é o composto orgânico mais abundante na natureza, a cadeia de celulose individual é secretada por meio da celulose sintase na conformação de roseta ou unidade de complexo terminal.

Quando associadas em feixes de 36, as cadeias individuais de celulose cristalizam através de ligações de hidrogênio entre e intracadeias em fibrilas elementares de aproximadamente 3-4 nm de largura (Habibi; Lucia; Rojas, 2010). Embora comumente seja derivada de plantas, a celulose também é produzida por uma variedade de microrganismos, como bactérias, algas e fungos. A celulose bacteriana (CB) biossintética é uma forma quase purificada de celulose produzida por cepas de bactérias (Lin et al., 2013).

O primeiro relato de celulose sintetizada através de bactérias, exclusivamente a *Acetobacter xylinum (A. xylinum)*, foi descrito por Brown em 1886. Estudos recentes demonstraram que a celulose pode ser produzida por diferentes bactérias, incluindo espécies de bactérias Gram-negativas como *Acetobacter Azotobacter, Rhizobium, Agrobacterium, Pseudomonas, Salmonella* e *Alcaligenes*, bem como espécies bacterianas Gram-positivas, como *Sarcina ventriculi* (Brown, 1886; Cavalcanti et al., 2017; Oliveira et al., 2023).

A celulose bacteriana (CB) é um homopolissacarídeo linear composto por unidades d-glucopiranose ligadas por ligações β-1,4-glicosídicas (Abdul Khalil et al., 2014). Cada cadeia de celulose (Figura 1) possui uma assimetria química direcional em relação aos terminais de seu eixo molecular: uma extremidade é uma funcionalidade quimicamente redutora (ou seja, uma unidade hemiacetal) e a outra possui um grupo hidroxila pendente, a extremidade nominal não redutora.

Figura 1. Estrutura química da celulose.



Fonte: Adaptado de Habibi; Lucia; Rojas (2010)

O número de unidades de glicose ou o grau de polimerização é de até 20.000, mas cadeias de celulose mais curtas podem ocorrer e estão localizadas principalmente nas paredes celulares primárias (Habibi; Lucia; Rojas, 2010). Apesar de possuir a mesma estrutura química, a propriedade inerente e o grau de polimerização dependem da fonte de origem da celulose (Abdul Khalil et al., 2014). A CB é uma nanocelulose, pois é uma celulose pura sem a presença de hemicelulose, pectina ou lignina. A celulose é excretada pelas bactérias diretamente no meio de cultura aquoso como nanofibras, com diâmetro variando de 25 a 100 nm. Essas nanofibras formam películas no meio de cultura (LEE et al.,

2012). A celulose produzida pelas plantas é normalmente ramificada com hemicelulose e lignina. Por isso necessitam passar por processo químico para se obter a celulose pura (Esa; Tasirin; Rahman, 2014).

A celulose bacteriana possui características atraentes, como rede de fibras extremamente finas e puras, alta capacidade de absorção de água, alta resistência mecânica, e boa estabilidade físico-química. Essas vantagens tornam esse material de polímero natural de baixo custo um candidato promissor como modelo para novos materiais para a engenharia de tecidos com morfologia porosa semelhante a MEC (Cavalcanti et al., 2017). Desta forma, diversos estudos utilizam a celulose bacteriana para produção de nanocompósitos (Gopiraman et al., 2018; Oliveira et al., 2024; Portela et al., 2019; Savitskaya et al., 2019; Sofla et al., 2016).

O poli (álcool vinílico) (PVA) é um polímero de origem sintética com hidrofilicidade (grupos-OH), discreta de biodegradabilidade e alta biocompatibilidade. O PVA é produzido em duas etapas por causa da sua apresentação instável (prontamente tautomerizada em acetaldeído) do álcool vinílico como unidades monoméricas (a) a polimerização radicalar do acetato de vinila em uma solução alcoólica e (b) a hidrólise parcial do poli(acetato de vinila) (VAc) (Kumar; Han, 2017).

O PVA é um polímero hidrossolúvel, biodegradável e não tóxico que está ganhando interesse crescente para utilização biomédica, tanto como um componente estrutural, por exemplo, para cartilagem artificial, andaimes de engenharia de tecidos como um componente funcional, por exemplo, para sistemas de liberação controlada de medicamentos (Zhuang et al., 2012).

O PVA é um hidrogel que tem sido alvo de estudos para diversas aplicações biomédicas. O PVA pode ser reticulado usando diferentes métodos, incluindo agentes químicos, feixe de elétrons ou radiação γ, ou fisicamente usando ciclagem térmica (Millon; Wan, 2006).

Na engenharia de tecidos, o *scaffolds* obtidos à base de PVA têm sido estudados para substituir os enxertos artificiais disponíveis atualmente (Jiang; Liu; Feng, 2011). Os hidrogéis de PVA não possuem nenhuma atividade antimicrobiana. Para driblar essa restrição, os hidrogéis de PVA podem ser associados a agentes antimicrobianos (Hwang et al., 2010). Uma abordagem encorajadora para eliminar a infecção é a combinação de nanopartículas (NPs) e íons metálicos em polímeros, produzindo novos biomateriais para diferentes aplicações (Hore, 2019).

4 CONCLUSÃO

A Engenharia de tecidos estabelece-se como um campo revolucionário para a medicina regenerativa, oferecendo soluções inovadoras para o desafio clínico das feridas de difícil cicatrização. Este trabalho evidenciou que o sucesso da construção de um substituto cutâneo funcional está intrinsecamente ligado ao design e à seleção apropriada de biomateriais para a fabricação de scaffolds. Tanto os polímeros naturais, exemplificados pela celulose bacteriana com sua biocompatibilidade superior e arquitetura nanofibrosa única, quanto os sintéticos, como o PVA com suas propriedades mecânicas ajustáveis e versatilidade de processamento, apresentam vantagens distintas.

Contudo, as limitações inerentes a cada categoria como a baixa resistência mecânica dos naturais e a menor bioatividade dos sintéticos sugerem que o futuro da ET cutânea reside no desenvolvimento de materiais compósitos. A combinação sinérgica de polímeros naturais e sintéticos em scaffolds híbridos emerge como a estratégia mais promissora para criar um microambiente que não apenas suporte mecanicamente o neotecido, mas também estimule ativamente a regeneração biológica. Pesquisas contínuas são imperativas para otimizar essas combinações, testar sua eficácia em modelos complexos e, finalmente, traduzir esses avanços tecnológicos em terapias acessíveis e eficazes que melhorem significativamente a qualidade de vida dos pacientes.

5 REFERÊNCIAS

ABDUL KHALIL, H. P. S. et al. Production and modification of nanofibrillated cellulose using various mechanical processes: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 99, p. 649–665, 2 jan. 2014.

AHMED, F. E.; LALIA, B. S.; HASHAIKEH, R. A review on electrospinning for membrane fabrication: Challenges and applications. **Desalination**, State-of-the-Art Reviews in Desalination. v. 356, p. 15–30, 15 jan. 2015.

ASADI, N. et al. Common biocompatible polymeric materials for tissue engineering and regenerative medicine. **Materials Chemistry and Physics**, v. 242, p. 122528, 15 fev. 2020.

AUSTIN, M. J.; ROSALES, A. M. Tunable biomaterials from synthetic, sequence-controlled polymers. **Biomaterials Science**, v. 7, n. 2, p. 490–505, 29 jan. 2019.

AYOUB, A. S.; LUCIA, L. A. **Introduction to Renewable Biomaterials: First Principles and Concepts**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2017.

BERGMANN, C.; STUMPF, A. **Dental Ceramics: Microstructure, Properties and Degradation**. [s.l.] Springer Science & Business Media, 2013.

BOCCACCINI, A. R.; MA, P. X.; LIVERANI, L. **Tissue Engineering Using Ceramics and Polymers**. [s.l.] Woodhead Publishing, 2021.

BORENA, B. M. et al. Regenerative Skin Wound Healing in Mammals: State-of-the-Art on Growth Factor and Stem Cell Based Treatments. **Cellular Physiology and Biochemistry**, v. 36, n. 1, p. 1–23, 27 abr. 2015.

BROWN, A. J. XLIII.—On an acetic ferment which forms cellulose. **Journal of the Chemical Society, Transactions**, v. 49, n. 0, p. 432–439, 1 jan. 1886.

CAVALCANTI, L. M. et al. Efficacy of bacterial cellulose membrane for the treatment of lower limbs chronic varicose ulcers: a randomized and controlled trial. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 44, n. 1, p. 72–80, fev. 2017.

CHAHAL, S.; KUMAR, A.; HUSSIAN, F. S. J. Development of biomimetic electrospun polymeric biomaterials for bone tissue engineering. A review. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, v. 30, n. 14, p. 1308–1355, 22 set. 2019.

ESA, F.; TASIRIN, S. M.; RAHMAN, N. A. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, 2nd International Conference on Agricultural and Food Engineering (CAFE 2014) - New Trends Forward. v. 2, p. 113–119, 1 jan. 2014.

FATHI-ACHACHELOUEI, M. et al. Use of Nanoparticles in Tissue Engineering and Regenerative Medicine. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 7, 2019.

GOPIRAMAN, M. et al. Gold, silver and nickel nanoparticle anchored cellulose nanofiber composites as highly active catalysts for the rapid and selective reduction of nitrophenols in water. **RSC Advances**, v. 8, n. 6, p. 3014–3023, 2018.

GROEBER, F. et al. Skin tissue engineering — In vivo and in vitro applications. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 63, n. 4–5, p. 352–366, abr. 2011.

HABIBI, Y.; LUCIA, L. A.; ROJAS, O. J. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. **Chemical Reviews**, v. 110, n. 6, p. 3479–3500, 9 jun. 2010.

HORE, M. J. A. Polymers on nanoparticles: structure & dynamics. **Soft Matter**, v. 15, n. 6, p. 1120–1134, 6 fev. 2019.

HWANG, M.-R. et al. Gentamicin-Loaded Wound Dressing With Polyvinyl Alcohol/Dextran Hydrogel: Gel Characterization and In Vivo Healing Evaluation. **AAPS PharmSciTech**, v. 11, n. 3, p. 1092–1103, 1 set. 2010.

JATOI, A. W.; KIM, I. S.; NI, Q. Q. A comparative study on synthesis of AgNPs on cellulose nanofibers by thermal treatment and DMF for antibacterial activities. **Materials Science and Engineering: C**, v. 98, p. 1179–1195, 1 maio 2019.

JIANG, S.; LIU, S.; FENG, W. PVA hydrogel properties for biomedical application. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials**, v. 4, n. 7, p. 1228–1233, out. 2011.

KABASHIMA, K. et al. The immunological anatomy of the skin. **Nature Reviews Immunology**, v. 19, n. 1, p. 19–30, jan. 2019.

KALIRAJAN, C. et al. A Critical Review on Polymeric Biomaterials for Biomedical Applications. **Polymers**, v. 13, n. 17, p. 3015, jan. 2021.

KANIMOZHI, K.; KHALEEL BASHA, S.; SUGANTHA KUMARI, V. Processing and characterization of chitosan/PVA and methylcellulose porous scaffolds for tissue engineering. **Materials Science and Engineering: C**, v. 61, p. 484–491, 1 abr. 2016.

KOLARSICK, P. A. J.; KOLARSICK, M. A.; GOODWIN, C. Anatomy and Physiology of the Skin. **Journal of the Dermatology Nurses' Association**, v. 3, n. 4, p. 203, ago. 2011.

KUMAR, A.; HAN, S. S. PVA-based hydrogels for tissue engineering: A review. **International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials**, v. 66, n. 4, p. 159–182, 4 mar. 2017.

LANGER, R.; VACANTI, J. P. Tissue Engineering. **Science**, v. 260, n. 5110, p. 920–926, 14 maio 1993.

LEE, K.-Y. et al. High Performance Cellulose Nanocomposites: Comparing the Reinforcing Ability of Bacterial Cellulose and Nanofibrillated Cellulose. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 4, n. 8, p. 4078–4086, 22 ago. 2012.

LIM, K. et al. Immobilization Studies of an Engineered Arginine–Tryptophan-Rich Peptide on a Silicone Surface with Antimicrobial and Antibiofilm Activity. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 5, n. 13, p. 6412–6422, 10 jul. 2013.

LIU, L. et al. In situ forming hydrogels based on chitosan for drug delivery and tissue regeneration. **Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 11, n. 6, p. 673–683, 1 dez. 2016.

LUO, R. et al. Accelerated Skin Wound Healing by Electrical Stimulation. **Advanced Healthcare Materials**, v. 10, n. 16, p. 2100557, 2021.

MILLON, L. E.; WAN, W. K. The polyvinyl alcohol–bacterial cellulose system as a new nanocomposite for biomedical applications. **Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials**, v. 79B, n. 2, p. 245–253, nov. 2006.

OLIVEIRA, G. M. D. et al. Bacterial cellulose biomaterials for the treatment of lower limb ulcers. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**, v. 50, p. e20233536, 22 maio 2023.

OLIVEIRA, G.M. et al. Development of nano-antimicrobial material based on bacterial cellulose, silver nanoparticles, and ClavaninA. **Polímeros,** v. 34, n. 3, p. e20240030, 2024.

PINA, S. et al. Scaffolding Strategies for Tissue Engineering and Regenerative Medicine Applications. **Materials**, v. 12, n. 11, p. 1824, jan. 2019.

QU, H. et al. Biomaterials for bone tissue engineering scaffolds: a review. **RSC Advances**, v. 9, n. 45, p. 26252–26262, 2019a.

RAHMATI, M. et al. Electrospinning for tissue engineering applications. **Progress in Materials Science**, v. 117, p. 100721, 1 abr. 2021.

ROSIQUE, R. G.; ROSIQUE, M. J.; FARINA JUNIOR, J. A. Curbing Inflammation in Skin Wound Healing: A Review. **International Journal of Inflammation**, v. 2015, p. e316235, 18 ago. 2015.

ROTHER, E. T. Systematic literature review X narrative review. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 20, n. 2, p. v–vi, jun. 2007.

TERZOPOULOU, Z. et al. Biocompatible Synthetic Polymers for Tissue Engineering Purposes. **Biomacromolecules**, v. 23, n. 5, p. 1841–1863, 9 maio 2022.

VILLARREAL-GÓMEZ, L. J. et al. Antimicrobial Effect of Electrospun Nanofibers Loaded with Silver Nanoparticles: Influence of Ag Incorporation Method. **Journal of Nanomaterials**, v. 2021, p. e9920755, 17 ago. 2021.

WANG, J. et al. Polydopamine-Coated Antheraea pernyi (A. pernyi) Silk Fibroin Films Promote Cell Adhesion and Wound Healing in Skin Tissue Repair. **ACS Applied Materials & Interfaces**, v. 11, n. 38, p. 34736–34743, 25 set. 2019.

ZHUANG, P.-Y. et al. Modification of chitosan membrane with poly(vinyl alcohol) and biocompatibility evaluation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 50, n. 3, p. 658–663, 1 abr. 2012.