

BIOTECNOLOGIA APLICADA À CICATRIZAÇÃO: MEMBRANAS EXPERIMENTAIS COM CELULOSE BACTERIANA, GRAFITE E NIÓBIO

JÚLIA SILVEIRA LONGARAY¹; NATHÁLIA LINK BAHR²; CARLA LUCIA DAVID PENA³; MORGANA LÜDTKE AZEVEDO⁴; JULIANA SILVA RIBEIRO DE ANDRADE⁵; RAFAEL GUERRA LUND⁶

¹*Universidade Federal de Pelotas – julias.longaray02@gmail.com*

²*Universidade Federal de Pelotas – nlinkbahr@gmail.com*

³*Universidade Federal de Pelotas – cldp58@gmail.com*

⁴*Universidade Federal de Pelotas - morganaludtke@gmail.com*

⁵*Universidade Federal de Santa Catarina – sribeirooj@gmail.com*

⁶*Universidade Federal de Pelotas - rafael.lund@gmail.com*

1. DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO

A presente proposta visa o desenvolvimento de membranas bioativas de celulose bacteriana (BC) funcionalizadas com grafite funcionalizado (GF) e pentóxido de nióbio (Nb_2O_5), para aplicação em odontologia regenerativa e em terapias de reparo tecidual. A inovação está alicerçada na combinação inédita desses componentes, que atua de forma sinérgica: o GF confere propriedades antimicrobianas, enquanto o Nb_2O_5 estimula a atividade celular e a síntese de colágeno, favorecendo o processo de cicatrização.

Diferentemente das membranas sintéticas já disponíveis no mercado, a proposta integra biodegradabilidade, biocompatibilidade e funcionalização específica para potencializar a regeneração de tecidos moles e duros. Destaca-se que a síntese das membranas já foi realizada com sucesso em escala laboratorial, confirmando a viabilidade inicial da proposta e caracterizando a tecnologia como uma inovação em desenvolvimento ativo.

2. ANÁLISE DE MERCADO

O mercado global de curativos avançados movimenta anualmente mais de US\$ 10 bilhões, com projeção de crescimento sustentado devido ao aumento de feridas crônicas e ao envelhecimento populacional (NUSSBAUM et al., 2018; SEN, 2019). No Brasil, estima-se que cerca de 3 milhões de pessoas convivam com lesões crônicas, representando um desafio significativo para o sistema de saúde.

Em termos de TAM (Total Addressable Market), o mercado nacional de curativos avançados é estimado em aproximadamente R\$ 2 bilhões anuais. O SAM (Serviceable Available Market), considerando o segmento hospitalar e odontológico, corresponde a cerca de R\$ 800 milhões. O SOM (Serviceable Obtainable Market), isto é, a fatia que pode ser conquistada nos primeiros anos de comercialização, projeta-se em torno de R\$ 50 milhões, com inserção inicial em hospitais privados e clínicas especializadas.

O envelhecimento populacional e a alta prevalência de doenças crônicas, como o diabetes, reforçam a atratividade do setor, uma vez que aumentam a demanda por terapias regenerativas eficazes. Nesse contexto, a proposta apresenta diferencial competitivo frente a concorrentes como Biobrane®, Integra® e Suprathel®, ao oferecer uma alternativa nacional, sustentável, biodegradável e funcionalizada com compostos bioativos.

3. ESTRATÉGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

O desenvolvimento da tecnologia encontra-se em fase laboratorial, abrangendo a produção de membranas de BC e sua funcionalização com GF e Nb₂O₅ em diferentes concentrações. Ensaios preliminares já foram conduzidos, incluindo a caracterização estrutural por espectroscopia no infravermelho (FTIR), que confirmou a presença de bandas atribuídas ao Nb₂O₅, e a análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura (MEV), que evidenciou modificações na superfície das membranas após a funcionalização. Além disso, o teste de contato direto contra *Staphylococcus aureus* demonstrou que a formulação G4 (BNC + GF 1% + Nb₂O₅ 1%) promoveu redução significativa da proliferação bacteriana em 24 horas, reforçando o potencial antimicrobiano da tecnologia.

No que se refere à maturidade tecnológica, o projeto situa-se atualmente em TRL 3–4, correspondente à fase de prova de conceito em ambiente laboratorial controlado. Os próximos estágios incluem a realização de ensaios de biocompatibilidade celular, a ampliação da escala de produção e, futuramente, a condução de estudos pré-clínicos e clínicos, como recomendado em pesquisas similares de desenvolvimento de biomateriais (ANTONINI et al., 2019; MARINS et al., 2020).

Em termos de modelo de negócios, prevê-se a transferência da tecnologia para a indústria biomédica, com vistas à produção em escala e à distribuição para hospitais e clínicas especializadas. O registro de propriedade intelectual constitui uma etapa estratégica a ser considerada, uma vez que a combinação inédita de BC, GF e Nb₂O₅ confere caráter inovador ao produto. Todavia, reconhece-se como desafio a determinação das concentrações ideais dos compostos funcionais, de modo a equilibrar eficácia antimicrobiana e biocompatibilidade, bem como a viabilidade de escalonamento industrial e econômico (WILKINSON; HARDMAN, 2020).

4. RESULTADOS ESPERADOS E IMPACTO

As membranas de nanocelulose foram sintetizadas com sucesso, confirmando a viabilidade do processo de produção. A caracterização estrutural por espectroscopia no infravermelho (FTIR) evidenciou a presença de bandas atribuídas ao Nb₂O₅, confirmando a sua incorporação à matriz polimérica. Além disso, verificou-se o atenuamento de picos característicos da BNC após a funcionalização, o que sugere interações químicas entre os componentes. A análise morfológica realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV)

demonstrou modificações na superfície das membranas, confirmando alterações estruturais decorrentes da adição dos compostos funcionais.

No ensaio de atividade antimicrobiana, conduzido por meio do teste de contato direto contra *Staphylococcus aureus*, observou-se redução significativa da proliferação bacteriana em 24 horas, com destaque para a formulação G4 (BNC + GF 1% + Nb₂O₅ 1%). Esses achados preliminares confirmam que a funcionalização potencializa o desempenho biológico das membranas, reforçando seu potencial para aplicações em odontologia regenerativa e em terapias de reparo tecidual.

O impacto clínico esperado inclui a aceleração da cicatrização, a redução do risco de infecções e a diminuição da necessidade de antibioticoterapia prolongada, aspecto crítico diante do crescente problema da resistência bacteriana (NUSSBAUM et al., 2018; SEN, 2019). Do ponto de vista ambiental, a utilização da celulose bacteriana, material biodegradável e de produção sustentável, representa uma alternativa promissora para a substituição de curativos sintéticos, contribuindo para a redução do impacto ambiental associado a resíduos hospitalares (PORTELA et al., 2019).

No âmbito econômico, estima-se crescimento progressivo com inserção inicial em hospitais privados e centros de pesquisa, seguida pela aprovação regulatória e posterior adoção no sistema público de saúde. As projeções indicam faturamento de aproximadamente R\$ 500 mil no primeiro ano, podendo alcançar R\$ 1,5 milhão no segundo e até R\$ 3 milhões no terceiro ano, à medida que a inovação se consolide no mercado nacional e em potenciais mercados emergentes.

Além disso, a tecnologia abre caminho para aprimoramentos futuros, como a possibilidade de incorporação de fármacos com liberação controlada e a aplicação em outras áreas da saúde, como dermatologia e cirurgia plástica. Dessa forma, a inovação não apenas atende a uma demanda clínica urgente, mas também se apresenta como solução sustentável, economicamente viável e tecnologicamente expansível.

5. CONCLUSÕES

O desenvolvimento de membranas bioativas de celulose bacteriana funcionalizadas com grafite funcionalizado e pentóxido de nióbio configura-se como uma proposta inovadora no campo dos biomateriais aplicados à regeneração tecidual. Os resultados preliminares obtidos, evidenciando a síntese bem-sucedida das membranas e a redução significativa da proliferação bacteriana em 24 horas, especialmente na formulação G4 (BNC + GF 1% + Nb₂O₅ 1%), confirmam o potencial da tecnologia para aplicações clínicas em odontologia regenerativa e no tratamento de lesões cutâneas complexas.

Além da relevância clínica, a proposta também apresenta impacto social, ao visar a melhoria da qualidade de vida de pacientes com feridas crônicas e queimaduras, reduzindo complicações infecciosas e o tempo de internação

hospitalar. Sob a perspectiva ambiental, a utilização de celulose bacteriana, material natural, biodegradável e produzido de forma sustentável, representa uma alternativa aos curativos sintéticos convencionais, contribuindo para a redução de resíduos biomédicos e alinhando-se às práticas de uma ciência mais sustentável.

Do ponto de vista econômico, as projeções financeiras apontam para crescimento progressivo e viável, com inserção inicial em hospitais privados e centros de pesquisa, seguida por expansão para o sistema público de saúde e, posteriormente, para mercados emergentes. Essa trajetória demonstra o potencial de consolidação da inovação no setor de curativos avançados.

Embora o projeto se encontre em estágio inicial (TRL 3-4), os resultados preliminares já obtidos reforçam sua viabilidade e relevância. A continuidade das pesquisas, com a realização de ensaios biológicos e clínicos, será fundamental para validar a eficácia e segurança da tecnologia, possibilitando sua futura inserção no mercado. Dessa forma, a presente inovação tem potencial de se consolidar como uma alternativa terapêutica diferenciada, reunindo eficácia clínica, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica em um único produto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONINI, L. M. et al. Osteogenic differentiation of bone marrow-derived mesenchymal stem cells on anodized niobium surface. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v.30, n.9, 2019.
- MARINS, N. H. et al. Fabrication of electrospun poly(lactic acid) nanoporous membrane loaded with niobium pentoxide nanoparticles as a potential scaffold for biomaterial applications. **Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials**, v.108, n.4, p.1559–1567, 2020.
- NUSSBAUM, S. R. et al. An Economic Evaluation of the Impact, Cost, and Medicare Policy Implications of Chronic Nonhealing Wounds. **Value in Health**, v.21, n.1, p.27–32, 2018.
- PORTELA, R. D. et al. Bacterial cellulose: a versatile biopolymer for wound dressing applications. **Journal of Wound Care**, v.28, n.5, p.292–299, 2019.
- SEN, C. K. Human wounds and its burden: an updated compendium of estimates. **Advances in Wound Care**, v.8, n.2, p.39–48, 2019.
- TAN, J. et al. Niobium promotes fracture healing in rats by regulating the PI3K/Akt signalling pathway: An in vivo and in vitro study. **Journal of Orthopaedic Translation**, v.37, p.113–125, 2022.
- WILKINSON, H. N.; HARDMAN, M. J. Wound healing: cellular mechanisms and pathological outcomes. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.375, p.20190227, 2020.