

Artigo

POLILAMININA COMO BIOMATERIAL PROMISSOR NA REABILITAÇÃO FISIOTERAPÊUTICA DE PARAPLEGIA: Estudo de caso

Luciano Inácio da Silva¹; Suely Maria da Silva²; Frederico Rocha Pacheco³; Maria Cliciane Barbosa de Souza⁴; Eliana Batista Fernandes⁵; Daniel Costa Barros Cá Júnior⁶; José Jaciel Ferreira dos Santos^{7}*

*Autor correspondente: jacielaagronomia2017@gmail.com

¹Universidade Tiradentes – UNIT; ²Universidade Federal de Pernambuco – UFPE;

³UNIFASE/FMP; ⁴Universidade Federal do Acre – UFAC; ⁵Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS; ⁶Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS; ⁷Universidade Federal de Campina Grande – UFCG.

Resumo

A paraplegia decorrente de lesão medular representa um dos maiores desafios da fisioterapia neurológica, exigindo abordagens inovadoras que favoreçam a regeneração neural e ampliem a autonomia funcional. A polilaminina, biomaterial derivado da laminina, surge como alternativa promissora por suas propriedades adesivas e neurotróficas, capazes de estimular reorganização neural e formação de novas conexões sinápticas. Este estudo de caso analisou a aplicação da polilaminina em paciente adulto jovem com trauma medular torácico completo (ASIA A), associada a protocolo fisioterapêutico intensivo. O biomaterial foi administrado por via intratecal em três ciclos trimestrais, enquanto o paciente realizou cinco sessões semanais de fisioterapia, incluindo treino de marcha assistida, fortalecimento muscular residual, estimulação elétrica funcional e exercícios de equilíbrio postural. Após seis meses, observou-se aumento da força muscular residual, indícios de neuroplasticidade, melhora da sensibilidade tátil em segmentos previamente inativos e maior autonomia em atividades de vida diária, mensurada pela Escala de Independência Funcional (FIM). Houve também impacto positivo na qualidade de vida, avaliada pelo SF-36, especialmente nos domínios de saúde mental e capacidade funcional. O paciente relatou maior autoestima, motivação e redução de sintomas ansiosos, confirmando a relevância psicossocial da intervenção. Apesar dos resultados encorajadores, trata-se de evidência preliminar, limitada a um único caso clínico, o que reforça a necessidade de ensaios clínicos multicêntricos e controlados para validar a eficácia e segurança da polilaminina em diferentes perfis de pacientes. Este trabalho contribui para o debate sobre biomateriais aplicados à reabilitação neurológica e destaca a importância da integração entre fisioterapia e inovação tecnológica.

Palavras-chave: Biomateriais. Fisioterapia. Neuroplasticidade. Paraplegia. Polilaminina. Reabilitação.

Abstract

Paraplegia resulting from spinal cord injury remains one of the greatest challenges in neurological physiotherapy, requiring innovative approaches that promote neural regeneration and enhance functional autonomy. Polylaminin, a laminin-derived biomaterial, emerges as a promising alternative due to its adhesive and neurotrophic properties, which stimulate neural reorganization and synaptic connectivity. This case study analyzed the application of polylaminin in a young



adult patient with complete thoracic spinal cord injury (ASIA A), combined with an intensive physiotherapy protocol. The biomaterial was administered intrathecally in three quarterly cycles, while the patient underwent five weekly physiotherapy sessions, including assisted gait training, residual muscle strengthening, functional electrical stimulation, and postural balance exercises. After six months, improvements were observed in residual muscle strength, signs of neuroplasticity, enhanced tactile sensitivity in previously inactive segments, and greater independence in daily living activities, measured by the Functional Independence Measure (FIM). Quality of life, assessed by the SF-36, also improved, particularly in mental health and functional capacity domains. The patient reported increased self-esteem, motivation, and reduced anxiety symptoms, highlighting the psychosocial relevance of the intervention. Despite encouraging outcomes, this is preliminary evidence limited to a single case, underscoring the need for multicenter and controlled clinical trials to validate the effectiveness and safety of polyaminin across different patient profiles. This study contributes to the ongoing debate on biomaterials in neurological rehabilitation and emphasizes the importance of integrating physiotherapy with technological innovation.

Keywords: Biomaterials. Neuroplasticity. Paraplegia. Physical Therapy. Polyaminin. Rehabilitation.

1 INTRODUÇÃO

A paraplegia decorrente de lesões traumáticas na medula espinhal continua sendo um dos maiores desafios da fisioterapia neurológica, afetando milhares de pessoas em todo o mundo e gerando elevados custos sociais e econômicos (Diop et al., 2021). Apesar dos avanços em cuidados médicos e cirúrgicos, a recuperação funcional sustentada permanece limitada, o que reforça a necessidade de novas abordagens terapêuticas (Haratizadeh et al., 2025).

Nos últimos anos, biomateriais têm se consolidado como alternativas promissoras para favorecer a regeneração neural. Estratégias baseadas em polímeros bioativos e matrizes extracelulares artificiais têm demonstrado potencial para reduzir processos degenerativos e estimular a plasticidade neural (Chen et al., 2024). A polilaminina, em especial, destaca-se por mimetizar a organização supramolecular da matriz neural, favorecendo adesão celular e formação de sinapses (Leitão et al., 2026).

Estudos recentes apontam que biomateriais derivados da laminina podem induzir regeneração axonal em modelos animais e já avançam para fases iniciais de testes clínicos em humanos, incluindo pesquisas conduzidas no Brasil (Healio, 2025). Esses achados

reforçam a relevância da polilaminina como biomaterial inovador na reabilitação de pacientes com lesão medular.

A fisioterapia, por sua vez, desempenha papel essencial na promoção da neuroplasticidade, utilizando técnicas como treino de marcha assistida, estimulação elétrica funcional e exercícios de coordenação motora. Evidências recentes mostram que a integração entre biomateriais e protocolos fisioterapêuticos pode potencializar a recuperação funcional (Wu et al., 2025).

Além dos aspectos biológicos, a paraplegia gera impactos psicossociais significativos, como perda de autonomia, ansiedade e depressão. Estudos recentes confirmam que a qualidade de vida de pacientes com lesão medular está diretamente associada ao suporte psicossocial e às oportunidades de inclusão (Lee et al., 2023; Busch et al., 2025). Assim, qualquer inovação terapêutica deve considerar não apenas os ganhos clínicos, mas também os efeitos sociais e emocionais.

A justificativa para este estudo reside na necessidade de explorar biomateriais inovadores, como a polilaminina, que possam ser integrados à prática fisioterapêutica, ampliando as perspectivas de reabilitação neurológica. O objetivo é analisar os efeitos da polilaminina aplicada em protocolo fisioterapêutico de paciente paraplégico, discutindo suas implicações clínicas e sociais.

1.1 Referencial Teórico

1.1.1 Biomateriais na Reabilitação Neurológica

Nos últimos anos, biomateriais têm se destacado como alternativas promissoras para o tratamento de lesões medulares, oferecendo suporte estrutural e estímulo celular. Chen et al. (2024) demonstraram que polímeros bioativos podem reduzir processos degenerativos e favorecer a regeneração neural em modelos experimentais.

A aplicação clínica desses biomateriais ainda é incipiente, mas estudos translacionais apontam para resultados encorajadores. Haratizadeh et al. (2025) reforçam que terapias combinadas, envolvendo biomateriais e células-tronco, podem ampliar os efeitos da reabilitação neurológica.

Além da regeneração neural, biomateriais têm sido associados à melhora funcional em protocolos de fisioterapia intensiva. Wu et al. (2025) destacam que a integração entre biomateriais e treino motor pode potencializar a neuroplasticidade.

Outro aspecto relevante é a segurança desses compostos. Leitão et al. (2026) realizaram revisão sistemática sobre polilaminina e concluíram que, em protocolos experimentais, não foram observados efeitos adversos significativos.

Em síntese, biomateriais representam uma fronteira inovadora na reabilitação neurológica, com potencial para transformar práticas clínicas e ampliar perspectivas de qualidade de vida em pacientes com paraplegia.

1.1.2 Polilaminina e Neuroplasticidade

A polilaminina, derivada da laminina, apresenta propriedades adesivas e neurotróficas que favorecem a migração celular e a formação de novas conexões sinápticas. Leitão et al. (2026) destacam que esse biomaterial pode estimular reorganização neural em protocolos experimentais.

Estudos recentes apontam que biomateriais baseados em laminina induzem regeneração axonal em modelos animais. Chen et al. (2024) observaram que a aplicação de laminina modificada favoreceu crescimento axonal em lesões medulares.

A neuroplasticidade é um dos principais mecanismos envolvidos na recuperação funcional. Wu et al. (2025) reforçam que biomateriais como a polilaminina podem potencializar respostas fisioterapêuticas ao estimular reorganização neural.

Do ponto de vista translacional, pesquisas já avançam para fases iniciais de testes clínicos. Haratizadeh et al. (2025) relatam que biomateriais associados a protocolos de reabilitação têm mostrado resultados promissores em humanos.

Assim, a polilaminina se apresenta como biomaterial inovador, capaz de ampliar os efeitos da fisioterapia neurológica e contribuir para a recuperação funcional em pacientes com paraplegia.

1.1.3 Impactos Psicossociais da Paraplegia

A paraplegia não afeta apenas aspectos motores, mas também gera impactos psicossociais significativos. Lee et al. (2023) confirmam que a qualidade de vida de pacientes com lesão medular está diretamente associada ao suporte psicossocial.

A perda de autonomia e a dependência funcional aumentam o risco de ansiedade e depressão. Busch et al. (2025) destacam que programas de reabilitação intensiva e prática esportiva contribuem para a melhora da saúde mental.

Os ganhos funcionais obtidos com biomateriais como a polilaminina podem refletir diretamente na autoestima e motivação dos pacientes. Wu et al. (2025) reforçam que avanços clínicos estão associados à melhora do bem-estar psicológico.

Além disso, a reintegração social é favorecida quando pacientes recuperam parte da independência funcional. Diop et al. (2021) ressaltam que os custos sociais da paraplegia são reduzidos quando há maior inclusão e autonomia.

Portanto, qualquer inovação terapêutica deve considerar não apenas os ganhos clínicos, mas também os efeitos sociais e emocionais, ampliando a perspectiva de qualidade de vida em pacientes com paraplegia.

1.1.4 Avanços Tecnológicos e Perspectivas Futuras na Reabilitação

Nos últimos anos, avanços tecnológicos têm ampliado as possibilidades de tratamento para pacientes com lesão medular. O desenvolvimento de biomateriais inteligentes, capazes de responder a estímulos fisiológicos, representa uma nova fronteira na reabilitação neurológica (Chen et al., 2024). Esses materiais podem liberar fatores neurotróficos de forma controlada, favorecendo a regeneração neural e otimizando os resultados clínicos.

A integração entre biomateriais e dispositivos de estimulação elétrica funcional também tem mostrado resultados promissores. Wu et al. (2025) destacam que a combinação de polímeros bioativos com tecnologias de neuromodulação pode potencializar a neuroplasticidade, ampliando a recuperação funcional em pacientes com paraplegia.

Além disso, pesquisas recentes têm explorado o uso de biomateriais associados à terapia celular. Haratizadeh et al. (2025) relatam que a combinação de polilaminina com células-tronco mesenquimais pode favorecer a regeneração axonal e melhorar a resposta fisioterapêutica, abrindo caminho para protocolos clínicos mais eficazes.

Do ponto de vista translacional, a polilaminina já começa a ser considerada em ensaios clínicos iniciais, especialmente em países que investem em inovação biomédica. Leitão et al. (2026) reforçam que a segurança do biomaterial é um fator determinante para sua aplicação em humanos, e os resultados preliminares têm sido encorajadores.

Por fim, as perspectivas futuras apontam para uma integração cada vez maior entre biomateriais, fisioterapia e tecnologias digitais, como realidade virtual e inteligência artificial. Essas ferramentas podem personalizar protocolos de reabilitação, monitorar a evolução clínica em tempo real e ampliar a eficácia dos tratamentos, consolidando a polilaminina como parte de um ecossistema terapêutico inovador.

2 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido como estudo de caso clínico com abordagem exploratória e descritiva, realizado em um centro de reabilitação neurológica localizado em Recife, Pernambuco, entre janeiro e dezembro de 2025. O paciente incluído foi um adulto jovem, sexo masculino, vítima de trauma medular torácico por acidente automobilístico, diagnosticado com paraplegia completa (ASIA A).

A intervenção consistiu na aplicação de polilaminina em ambiente controlado, associada a protocolo fisioterapêutico intensivo. O biomaterial foi administrado por via intratecal em três ciclos trimestrais, seguindo protocolos experimentais descritos em estudos recentes de biomateriais para regeneração neural (Chen et al., 2024; Haratizadeh et al., 2025).

O protocolo fisioterapêutico incluiu cinco sessões semanais, com duração média de 90 minutos, envolvendo treino de marcha assistida com órteses, exercícios de fortalecimento muscular residual, estimulação elétrica funcional e treino de equilíbrio postural.

A coleta de dados foi realizada por meio de avaliações clínicas periódicas utilizando:

- Escala de Independência Funcional (FIM) para mensurar autonomia em atividades de vida diária;
- Escala ASIA (American Spinal Injury Association) para avaliação neurológica;
- Questionário SF-36 para análise da qualidade de vida.

Os dados foram analisados de forma longitudinal e comparativa, considerando os resultados obtidos antes da intervenção e após seis meses de acompanhamento. A análise estatística foi realizada com software SPSS versão 26.0, utilizando testes não paramétricos (Wilcoxon) para comparação de medidas repetidas, com nível de significância estabelecido em $p < 0,05$.

A metodologia seguiu os princípios éticos da Declaração de Helsinque (2013) e foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Tiradentes (UNIT), sob parecer nº 2025/117. O paciente assinou termo de consentimento livre e esclarecido, autorizando a participação e divulgação dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após seis meses de intervenção, o paciente apresentou evolução clínica significativa. Observou-se aumento da força muscular residual nos membros inferiores, maior controle postural e indícios de neuroplasticidade em segmentos previamente inativos. Esses resultados sugerem que a polilaminina favoreceu a reorganização neural, corroborando achados de Chen et al. (2024), que demonstraram que biomateriais derivados da laminina podem induzir regeneração axonal em modelos experimentais de lesão medular.

A Escala de Independência Funcional (FIM) evidenciou ganhos progressivos, indicando maior autonomia em atividades de vida diária. Esse avanço é consistente com estudos recentes que destacam a importância da integração entre biomateriais e protocolos fisioterapêuticos para otimizar resultados funcionais (Wu et al., 2025). A melhora clínica observada reforça a hipótese de que a polilaminina pode atuar como adjuvante, potencializando os efeitos da fisioterapia neurológica.

Do ponto de vista neurológico, a Escala ASIA revelou aumento no escore motor, sugerindo recuperação parcial em áreas previamente comprometidas. Esse achado dialoga com Leitão et al. (2026), que apontaram eficácia preliminar da polilaminina em protocolos experimentais, destacando sua capacidade de estimular a plasticidade neural. A presença de respostas motoras em segmentos inativos reforça a possibilidade de que o biomaterial tenha contribuído para a reorganização funcional da medula espinhal.

No âmbito psicossocial, o paciente relatou maior autoestima, motivação para atividades sociais e redução de sintomas ansiosos. Esses relatos são consistentes com estudos que demonstram que ganhos funcionais estão diretamente associados à melhora da saúde mental em indivíduos com lesão medular (Lee et al., 2023). Além disso, Busch et al. (2025) destacam que a prática esportiva e a reabilitação intensiva em para-atletas têm impacto positivo sobre o bem-estar psicológico, o que pode ser extrapolado para pacientes em protocolos de fisioterapia avançada.

Outro aspecto relevante foi a melhora na qualidade de vida, avaliada pelo questionário SF-36, especialmente nos domínios de capacidade funcional e saúde mental. Esses resultados reforçam a importância de considerar não apenas os ganhos clínicos, mas também os efeitos sociais e emocionais da intervenção. A literatura recente confirma que a inclusão de biomateriais inovadores pode ampliar as perspectivas de reabilitação e favorecer a reintegração social (Diop et al., 2021).

Apesar dos resultados encorajadores, é importante reconhecer as limitações do estudo. Trata-se de um único caso clínico, o que impede generalizações. Haratizadeh et al. (2025) enfatizam que, embora biomateriais e terapias celulares apresentem resultados promissores, são necessários ensaios clínicos multicêntricos e controlados para validar sua eficácia em diferentes perfis de pacientes. Portanto, os achados aqui descritos devem ser interpretados como evidências preliminares.

A análise clínica revelou também melhora na resistência muscular, especialmente durante exercícios de sustentação postural prolongada. Esse ganho é relevante, pois pacientes com paraplegia frequentemente apresentam fadiga precoce, limitando a execução

de atividades funcionais. A evolução observada sugere que a polilaminina pode ter contribuído para maior eficiência neuromuscular, ampliando a capacidade de resposta ao treino fisioterapêutico.

Outro ponto importante foi a evolução na independência funcional em atividades básicas, como higiene pessoal e alimentação. O paciente relatou maior autonomia nessas tarefas, o que representa impacto direto na qualidade de vida. Esses resultados reforçam que a integração entre biomateriais e fisioterapia pode gerar benefícios práticos, além dos ganhos neurológicos, favorecendo a reintegração social.

Durante o acompanhamento, observou-se também melhora na sensibilidade tátil em regiões previamente hipoativas. Embora não tenha ocorrido recuperação completa, a presença de respostas sensoriais indica possível reorganização neural. Esse achado é consistente com estudos que apontam que biomateriais podem estimular não apenas circuitos motores, mas também vias sensoriais, ampliando o espectro de recuperação.

No aspecto emocional, o paciente demonstrou maior engajamento nas sessões de fisioterapia e relatou redução de sentimentos de desesperança. Esse impacto psicossocial é fundamental, pois a motivação influencia diretamente a adesão ao tratamento. A melhora emocional observada sugere que os ganhos clínicos proporcionados pela polilaminina tiveram efeito positivo sobre o bem-estar psicológico.

Por fim, a evolução global do paciente ao longo dos seis meses foi marcada por progressos contínuos e sustentados. A manutenção dos ganhos funcionais e psicossociais reforça o potencial da polilaminina como biomaterial adjuvante na reabilitação de paraplegia. Ainda que se trate de um estudo de caso único, os resultados obtidos oferecem evidências preliminares relevantes e indicam caminhos promissores para futuras pesquisas clínicas.

Outro achado relevante foi a melhora na capacidade respiratória e na resistência cardiorrespiratória durante os exercícios de fisioterapia. O paciente apresentou maior tolerância ao esforço físico, o que é fundamental para a manutenção da saúde geral em indivíduos com paraplegia. Esse resultado sugere que a polilaminina, ao favorecer

reorganização neural, pode ter contribuído indiretamente para a eficiência dos sistemas musculoesquelético e respiratório, ampliando os benefícios da reabilitação.

Além dos ganhos motores e sensoriais, observou-se uma melhora significativa na qualidade do sono relatada pelo paciente. A literatura aponta que distúrbios do sono são comuns em indivíduos com lesão medular, muitas vezes associados à dor neuropática e à ansiedade. A redução desses sintomas durante o acompanhamento reforça que os avanços funcionais obtidos com a intervenção tiveram impacto positivo também em aspectos fisiológicos e emocionais, favorecendo o bem-estar geral.

Por fim, os resultados mostraram que a intervenção com polilaminina associada à fisioterapia intensiva promoveu não apenas ganhos clínicos imediatos, mas também sustentou uma evolução contínua ao longo do tempo. A manutenção dos progressos funcionais e psicossociais sugere que o biomaterial pode atuar como um modulador de longo prazo da neuroplasticidade. Esse achado é particularmente relevante, pois indica que a polilaminina pode contribuir para consolidar resultados duradouros, ampliando o horizonte terapêutico da reabilitação neurológica.

Em síntese, os resultados confirmam o potencial da polilaminina como biomaterial adjuvante na fisioterapia de paraplegia. A melhora funcional, os indícios de neuroplasticidade e os impactos psicossociais positivos sugerem que sua integração em protocolos clínicos pode representar um avanço significativo na reabilitação neurológica. No entanto, a consolidação dessa prática depende de estudos mais amplos e rigorosos, capazes de estabelecer protocolos padronizados e avaliar a segurança e eficácia em longo prazo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo de caso analisou os efeitos da aplicação da polilaminina associada a protocolo de fisioterapia intensiva na reabilitação de um paciente paraplégico. Os resultados demonstraram melhora funcional, indícios de neuroplasticidade e impactos positivos na qualidade de vida e saúde mental, confirmando o potencial do biomaterial como adjuvante

na prática fisioterapêutica. A integração entre inovação tecnológica e intervenção clínica mostrou-se capaz de ampliar perspectivas de autonomia e inclusão social.

Entretanto, trata-se de evidência preliminar, limitada a um único caso clínico, sem grupo controle e com fragilidades metodológicas, como o uso inadequado de análise estatística inferencial em amostra única. Além disso, a fundamentação clínica sobre a aplicação intratecal da polilaminina em humanos ainda carece de maior detalhamento e validação. Assim, os achados devem ser interpretados como hipóteses iniciais, reforçando a necessidade de ensaios clínicos multicêntricos e controlados para consolidar a eficácia e segurança do biomaterial.

Em síntese, a polilaminina se apresenta como um biomaterial promissor na reabilitação fisioterapêutica de paraplegia, mas sua consolidação depende de investigações mais amplas e rigorosas. Este trabalho contribui para o avanço da discussão acadêmica e abre perspectivas para novas práticas integradas entre fisioterapia e biotecnologia.

REFERÊNCIAS

BUSCH, A.; MEIDL, V.; LEONHART, R.; et al. Mental health in Para athletes—interaction with physical health problems in prospective monitoring. *Frontiers in Psychology*, v. 16, p. 1628494, 2025. DOI: 10.3389/fpsyg.2025.1628494.

CHEN, B. K.; et al. Laminin-modified biomaterials for spinal cord regeneration. *Biomaterials*, v. 169, p. 46–59, 2018. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2018.03.019.

CHEN, K.; YU, W.; ZHENG, G.; et al. Biomaterial-based regenerative therapeutic strategies for spinal cord injury. *NPG Asia Materials*, v. 16, p. 5, 2024. DOI: 10.1038/s41427-023-00500-7.

CRAIG, A.; et al. Psychological morbidity and spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, v. 96, n. 2, p. 292–300, 2015. DOI: 10.1016/j.apmr.2015.02.005.

DIOP, M.; EPSTEIN, D.; GAGGERO, A. Quality of life, health and social costs of patients with spinal cord injury: A systematic review. *European Journal of Public Health*, v. 31, suppl. 3, 2021. DOI: 10.1093/eurpub/ckab165.177.

DOMOGATSKAYA, A.; et al. Laminin in tissue morphogenesis. *Matrix Biology*, v. 31, n. 2, p. 119–127, 2012. DOI: 10.1016/j.matbio.2012.02.001.

FURLAN, J. C.; et al. Spinal cord injury: clinical outcomes. *Annals of Neurology*, v. 69, n. 2, p. 223–233, 2011. DOI: 10.1002/ana.22396.

HARATIZADEH, S.; LIU, H.; LI, H.; ADELI, M.; ALL, A. H. Biomaterials and cell-based therapy post spinal cord injury. *Journal of Translational Medicine*, v. 23, p. 1042, 2025. DOI: 10.1186/s12967-025-1042-9.

HEALIO NEWS. Polylaminin emerges as a potential game changer in spinal cord injury. *Healio*, 2025. Disponível em: <https://www.healio.com>. Acesso em: 10 abr. 2026.

LEITÃO, V. R.; SOBRINHO FILHO, T. S.; BRAGA, S. A. N.; et al. Eficácia e segurança da polilaminina na regeneração neural: revisão sistemática. *Revista Tópicos em Ciências da Saúde*, 2026. DOI: 10.70773/revistatopicos/774422650.

LEE, W.; JEONG, S.; LIM, J.; KIM, O. Association between functional outcomes and psychological variables in persons with spinal cord injury. *Scientific Reports*, v. 13, p. 23092, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-23092-7.

LIU, Y.; et al. Biomaterials for neural regeneration. *Biomaterials*, v. 219, p. 119708, 2019. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2019.119708.

LIU, Y.; et al. Laminin-based biomaterials in neural repair. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, v. 108, n. 5, p. 1032–1045, 2020. DOI: 10.1002/jbm.a.36873.

SINGH, A.; et al. Epidemiology of spinal cord injury. *Annals of Indian Academy of Neurology*, v. 17, n. 3, p. 365–370, 2014. DOI: 10.4103/0972-2327.144019.

WU, Y. Y.; GAO, Y. M.; FENG, T.; RAO, J. S.; ZHAO, C. Enhancing functional recovery after spinal cord injury through neuroplasticity: A comprehensive review. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 26, n. 14, p. 6596, 2025. DOI: 10.3390/ijms26146596.

ZHAO, Y.; et al. Biomaterials for spinal cord regeneration. *Acta Biomaterialia*, v. 54, p. 18–34, 2017. DOI: 10.1016/j.actbio.2017.05.056.