



Simpósio Integrado das Ciências Farmacêuticas

AVANÇOS QUE CONECTAM CIÊNCIA, CUIDADO E TECNOLOGIA

MECANISMO DE TOXICIDADE DOS NANOTUBOS DE CARBONO E IMPLICAÇÕES PARA A SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Clara Tainá Freitas Oliveira¹; Yasmin Carvalho da Rocha Wanderley¹; Aline Rodrigues do Nascimento¹; Maria Eduarda de Andrade Peixoto¹; Amanda Adrielle da Silva Carvalho¹; Felipe Cícero Pereira Do Nascimento¹; Thatyana de Souza Silva¹; Danielle Cristine Almeida Silva de Santana¹; Fernando José Malagueño de Santana¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, UFPE; Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento Farmacêutico de Medicamentos e Análises Toxicológicas, P&D FarMATox; Recife/PE

Email do autor principal: clara.taina@ufpe.br

INTRODUÇÃO: A expansão da nanotecnologia tem impulsionado a utilização dos nanotubos de carbono (CNTs) em aplicações industriais e biomédicas devido às suas propriedades físico-químicas singulares. Entretanto, características como morfologia fibrosa, biopersistência e semelhança estrutural com fibras de amianto levantam preocupações quanto aos possíveis efeitos adversos desses nanomateriais sobre a saúde humana. Nesse contexto, a compreensão dos mecanismos envolvidos na toxicidade dos CNTs torna-se fundamental para a avaliação de riscos e desenvolvimento de estratégias de segurança. **OBJETIVOS:** Sintetizar as evidências científicas recentes acerca dos mecanismos de toxicidade dos CNTs e suas implicações para sistemas biológicos. **MATERIAL E MÉTODOS:** Trata-se de uma revisão integrativa da literatura realizada nas bases PubMed e Scopus. O período de busca foi delimitado entre 2021 e 2026. Utilizaram-se os descritores carbon nanotubes, toxicity, human health, e cytotoxicity, combinados com operadores booleanos AND. No PubMed, aplicou-se o filtro *Free full text*; no Scopus, o refinamento focou nas áreas de Medicina, Farmacologia, Toxicologia e Imunologia. Os critérios de inclusão priorizaram artigos experimentais originais, mecanismos de toxicidade de nanotubos de carbono, estudos *in vitro*, *in vivo* (modelos animais e xenotransplantes) e *in silico* e não houve restrição de idioma. Os critérios de exclusão definidos foram artigos de revisão, editoriais, cartas ao editor e resumos, artigos duplicados, estudos sem foco temático, como ecotoxicologia, aplicações terapêuticas sem avaliação toxicológica e outros materiais que não nanotubos de carbono. **RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Após a triagem de títulos, resumos e aplicação dos critérios de elegibilidade, foram excluídos 7 estudos por não atenderem ao escopo temático. Ao final desse processo, 13 estudos foram selecionados para compor esta revisão integrativa. Os estudos analisados por meio de modelos experimentais *in vivo*, *in vitro* e *in silico* demonstraram que a toxicidade dos CNTs apresenta caráter multifatorial. Em linhagens celulares, observou-se que a internalização celular pode ocorrer por endocitose ou penetração direta, desencadeando estresse oxidativo e aumento de espécies reativas de oxigênio (ROS), além de danos celulares e ativação de vias





inflamatórias. Evidências recentes demonstram que MWCNTs podem ativar o inflamassoma NLRP3 em macrófagos, desencadeando morte celular por piroptose. Além disso, alterações epigenéticas do RNA (m6A) identificadas em modelos celulares pulmonares contribuem para a toxicidade induzida por MWCNTs ao promoverem a mitofagia e bloqueio do ciclo celular. Análises bioinformáticas e modelos de xenotransplante sugerem potencial carcinogênico não genotóxico associado à expansão clonal e biopersistência. A funcionalização da superfície modula significativamente a intensidade das respostas celulares observadas. **CONCLUSÃO:** Dados provenientes de metodologias experimentais indicam que os CNTs apresentam potencial para induzir estresse oxidativo, inflamação, alterações epigenéticas e morte celular. Contudo, ressalta-se que esses achados derivam de modelos animais, celulares e bioinformáticos, não constituindo efeitos sistêmicos comprovados em humanos por evidências clínicas definitivas. A avaliação toxicológica padronizada e estratégias seguras são essenciais para futuras aplicações tecnológicas e biomédicas.

PALAVRAS-CHAVE: Nanotubos de carbono. Toxicidade. Saúde humana.

ÁREA TEMÁTICA: Análises Clínicas, Toxicológicas e Bromatológicas

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Liang, Y., Zhou, Y., Xie, D., Wang, Y., Sun, Y., & Luo, X. (2025). A novel link between enhanced chenodeoxycholic acid synthesis and multi-walled carbon nanotubes-induced proliferation inhibition and apoptosis in human ocular cells. *Journal of Advanced Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2025.11.061>

Kim, M., Hwang, H., Song, S., Kim, K.-S., Lee, J., & Oh, S. M. (2026). An AOP-Based Integrated In Vitro and In Vivo Assessment of the Non-Genotoxic Carcinogenic Potential of Multi-Walled Carbon Nanotubes. *Nanomaterials*, 16(4), 273. <https://doi.org/10.3390/nano16040273>

Salih, S. J., & Ghobadi, M. Z. (2022). Evaluating the cytotoxicity and pathogenicity of multi-walled carbon nanotube through weighted gene co-expression network analysis: a nanotoxicogenomics study. *BMC Genomic Data*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12863-022-01031-3>

Lim, C. S., Gu, J. K., & Ma, Q. (2025). Multiwalled carbon nanotubes activate the NLRP3 inflammasome-dependent pyroptosis in macrophages. *Molecular Pharmacology*, 107(5), 100031. <https://doi.org/10.1016/j.molpha.2025.100031>

Qi, Z., Huang, X., Feng, W., Dong, Z., Xu, M., Cui, Y., Xia, T., Liu, S., Gao, M., & Han, J. (2022). Significance of m6A regulation in environmental health and safety (EHS) assessment: MWCNTs induced pulmonary toxicity through m6A modifications of mitophagy-related genes. *Nano Today*, 46, 101624. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2022.101624>



