

SAÚDE DO TRABALHADOR E TOXICOLOGIA DO NANOTUBO DE CARBONO

Giovanna Geraldo Mendes do Amaral¹ (IC), Cláudio Ernani Martins de Oliveira (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Palavras-chave: Segurança do trabalho. Nanotubo de carbono. Toxicologia de nanomateriais.

Introdução

Nanomateriais são materiais com dimensões na ordem de 10^{-9} m e, podem ser compostos dos mais variados elementos, tais como ouro, prata e outros. Nos últimos trinta anos, têm se destacado os Nanotubos de Carbono (NTC). Devido às suas propriedades diferenciadas como resistência mecânica 60 vezes maior que o aço e módulo de Young cerca de 1 TPa, os NTC têm sido estudados para aplicações nas mais diversas áreas, principalmente em compósitos cimentícios [Garg, 2021; Yang, 2022].

Há várias técnicas de síntese de NTC, sendo a mais usual a chamada de Deposição Química da Fase Vapor (“CVD”- *Chemical Vapour Deposition*), onde hidrocarbonetos são usados como fonte de carbono e catalisadores à base de metais de transição, tais como ferro e cobalto, que apresentam características carcinogênicas.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é o acompanhamento da síntese de NTC e levantamento das atuais condições do Laboratório de Nanotecnologia Aplicada. Para isto, foi feita uma revisão da literatura com base nos riscos e normas regulamentadoras, a fim de contribuir com melhorias nas metodologias adotadas no trabalho com nanomateriais e precauções sobre sua toxicologia [Melo, 2008]. Todo o estudo realizado culminou com a elaboração de um projeto de mapa de risco, que atenda os preceitos da saúde e segurança do trabalho.

Quando se trata da saúde do trabalhador e a segurança no ambiente laboral em que envolva o manuseio de NTC, há algumas questões que devem ser consideradas, tais como: os meios de exposição, como a inalação de poeiras dispersas no ambiente, contato dérmico com o NTC, que possui a capacidade de penetração no organismo humano, o tempo de exposição a materiais e gases tóxicos, além de reações químicas e/ou biológicas inerentes aos metais usados no catalisador.

Metodologia

A metodologia neste trabalho, foi realizada através do acompanhamento do processo, desde a preparação de catalisadores até a produção de NTC via CVD e posterior caracterização, visando a contribuição para melhorias no ambiente de trabalho, manuseio com NTC e a redução dos riscos locais. Além de uma análise dos elementos químicos e tóxicos envolvidos no desenvolvimento de nanomateriais e dos riscos de acidentes laborais, será mostrado um projeto de mapa de risco elaborado, após a atualização de dados obtidos durante a pesquisa. A avaliação e prevenção dos riscos trazem melhorias na integridade da saúde do operador, sendo assim, foi realizado o monitoramento de todas as etapas junto ao Laboratório de Nanotecnologia Aplicada (LNA), na Unifei - Campus Itabira. A toxicologia ocupacional relaciona os componentes capazes de causar danos ao organismo do trabalhador, neste sentido, um resumo da metodologia adotada está representado no esquema da Fig. 1.

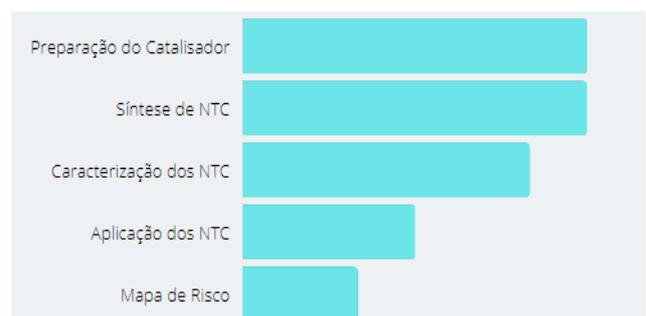


Figura 1: Esquema Representando as etapas da pesquisa

Resultados e discussão

Em relação ao catalisador usado para a síntese de NTC, é à base de metais, tais como Ferro e Cobalto. O cobalto (Co) é um elemento que está presente no organismo por

meio de enzimas provenientes de alimentação (vitamina B12), sendo encontrado também na natureza e no ambiente (água, solo e ar). Porém, é um elemento que pode causar danos ao organismo humano pela falta dele (como anemia) ou pelo excesso (como câncer, deficiência pulmonar e hipotireoidismo) e sua dosagem aceitável é cerca de 5-100 $\mu\text{g}/\text{dia}$. O ferro (Fe) é naturalmente encontrado no organismo, sendo em excesso prejudicial principalmente, ao sistema gastrointestinal e pode se depositar em órgãos do sistema cardiovascular e nervoso central, causando danos e alterações em seu funcionamento, desenvolvimento de diabetes, cirrose, problemas hormonais e pode até levar a falência dos órgãos. O grau de toxicidade é baseado na dose de ferro puro absorvida no organismo, sendo níveis até 20 mg/kg considerados não danosos, de 20 a 60 mg/kg são considerados como leves ou relativamente tóxicos, e níveis maiores que 60 mg/kg tóxicos e agravantes [Manual MSD, 2020].

No caso de toxicidade por metais, a avaliação da quantidade da substância é realizada através de um diagnóstico, onde a dosagem é coletada através do exame de sangue e urina, normalmente realizada em exames admissionais, demissionais e periódicos.

Após a preparação do catalisador, este material é introduzido em um forno tubular, com atmosfera controlada para a injeção de gases etileno e argônio. A temperatura da reação é mantida a 750°C, e o tempo de residência do composto catalítico na região de alta temperatura é de 25 minutos. O argônio é um gás nobre classificado como *Gases comprimidos não tóxicos e não inflamáveis*, ou seja, não contém propriedades tóxicas, porém quando ocorre o risco de vazamento, a concentração de oxigênio no ambiente necessária é reduzida, e o gás age como asfixiante simples. Já o etileno tem a classificação de *Gases inflamáveis*, que contém um odor característico agradável, atua como asfixiante simples e anestésico.

Ambos os gases usados são estocados em cilindros, que demandam um maior cuidado no manuseio, assim evita-se posicionar o cilindro em locais que contenham equipamentos elétricos e chamas abertas. Logo, os cilindros devem ser fixados firmemente para evitar impactos e quedas que possam causar algum dano e/ou vazamentos. Conforme a NR 20, Portaria SIT n° 787, de 29 de novembro de 2018, a finalidade é cumprir regulamentos de saúde e segurança com trabalhos que envolvam o manuseio de produtos combustíveis e inflamáveis no ambiente laboral.

O processo acompanhado da formação de NTC está ilustrado na figura 2, e ainda uma imagem de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Na medida de MEV, realizada por um técnico, foi vista seguindo os pressupostos na NR 6, Portaria SIT n° 787, de 29 de novembro de 2018, sobre EPI's, sendo necessários o uso de máscaras e luvas na preparação das amostras de MEV. Além disto, a sala em que se encontra o microscópio é adequada, em termos de ruídos e climatizada, tornando-se salubre para a saúde de trabalhador.

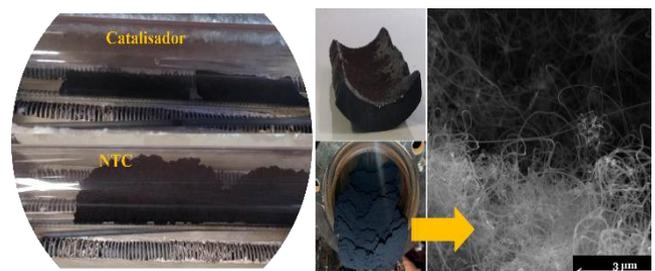


Figura 2: Foto ótica do catalisador e NTC produzidos e ainda uma imagem de MEV dos NTC.

Os nanomateriais têm maior capacidade de penetrar no organismo humano quando estão dispersos em ar ou em contato com a pele. A absorção dos nanotubos de carbono pode causar redução da função pulmonar e cardíaca, sendo comum sintomas de doenças relacionadas a obstrução pulmonar e fibrose [Melo, 2008].

Contudo, o processo desenvolvido pelos pesquisadores do grupo LNA é feito em condições apropriadas, buscando minimizar ao máximo a exposição aos riscos laborais e melhorias em prol da saúde enquanto trabalhador. Entretanto, certos equipamentos e espaços usados apresentam alguns riscos de acidente e/ou químicos, como mostrados na Figura 3. Nesta figura, pode ser visto vidraças quebradas, poeira e equipamentos mal posicionados.

Na Figura 4, pode ser visto o projeto de mapa de risco elaborado, considerando o espaço e equipamentos dispostos no processo estudado. Neste mapa são considerados riscos: acidente, químico e biológico são mais evidentes no processo, e os riscos físicos e ergonômicos menos presentes, devido à má postura e ruídos ao redor do ambiente.



Conclusões

A nanotecnologia, especialmente no que se refere aos nanotubos de Carbono, vem sendo estudada nas últimas décadas de forma a tornar os materiais usados em nosso dia a dia, com melhores propriedades físicas e/ou químicas.

Durante este trabalho, foi realizado o acompanhamento das atividades desenvolvidas no Laboratório de Nanotecnologia Aplicada (LNA), da UNIFEI - Campus Itabira, com relação aos Nanotubos de Carbono (NTC), buscando minimizar os riscos destes materiais e ainda foi realizada uma revisão da literatura, onde há 35 normas que regem a legislação sobre a regulamentação da saúde e segurança do trabalhado, criadas pela Secretaria Especial de Previdência do Trabalho e usadas para padronizar os meios e aumentar a prevenção de riscos ocupacionais.

Figura 3: Foto ótica no ambiente do LNA mostrando riscos (entulhos, vidros quebrados e equipamentos mal armazenados).

A oportunidade de contribuir para um projeto de mapa de risco do laboratório atualizado, considerando o espaço e equipamentos dispostos no processo, foi engrandecedor para formação como Engenheira de Saúde e Segurança. Além disso, espera-se que esta pesquisa possa vir a contribuir para outros trabalhos na área, e que sirva de base para o desenvolvimento de um futuro layout do laboratório, procurando alertar para os riscos das operações laboratoriais envolvendo nanomateriais.

Agradecimento

Aos integrantes do LNA, ao laboratório de Materiais de Construção Civil (MATCIME). Agradecemos também a UNIFEI pela oportunidade.

Referências

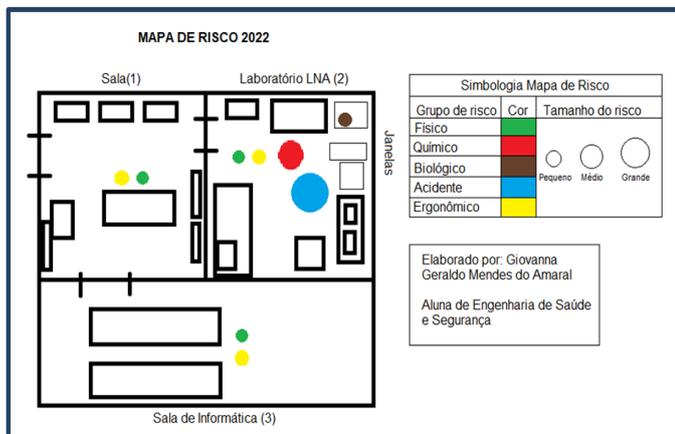


Figura 4: Projeto de Mapa de risco para o LNA

Assim, de acordo com o estudo realizado, constata-se aos riscos:

- Risco químico: devido a manipulação de gases, produtos que possam causar poeira e compostos químicos.
- Risco de acidente: condições das janelas quebradas proveniente de colisões de veículos como motos, encontra-se teias de aranhas e objetos entulhados.
- Risco biológico: contato com bactérias e micro-organismos.

A. Garg, H.D. Chalak, M.-O. Belarbi, A.M. Zenkour, R. Sahoo, **Estimation of carbon nanotubes and their applications as reinforcing composite materials—An engineering review**, Composite Structures. 272 (2021) 114234. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114234>.

Z. Yang, J. Yang, B. Shuai, Y. Niu, Z. Yong, K. Wu, C. Zhang, X. Qiao, Y. Zhang, **Superflexible yet robust functionalized carbon nanotube fiber reinforced sulphoaluminate cement-based grouting materials with excellent mechanical, electrical and thermal properties**, Construction and Building Materials. 328 (2022) 126999. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126999>.

D. A. Melo (2008), **Abordagens para um Trabalho Seguro com Nanotubos de Carbono**. Disponível em https://lqes.iqm.unicamp.br/images/bibliotecas_lqes_nanotecnologia_nanoriscos_seguranca.pdf. Acesso em 18 de setembro de 2022.

Manual MSD(2020) – Versão para profissionais da saúde, **Intoxicação por ferro**, Disponível em <https://www.msdmanuals.com/ptbr/profissional/les%C3%B5e-sintoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o/intoxica%C3%A7%C3%A3o-por-ferro>. Acesso em 20 de agosto de 2022.