

## **NanoCB-Fundacentro: uma ferramenta para auxiliar a avaliação e controle do risco ocupacional envolvendo nanomateriais**

**NanoCB-Fundacentro: a tool to support the assessment and control of occupational risk involving nanomaterials**

**NanoCB-Fundacentro: una herramienta para apoyar la evaluación y el control del riesgo ocupacional relacionado con nanomateriales**

Recebido: 12/04/2025 | Revisado: 19/05/2025 | Aceitado: 20/05/2025 | Publicado: 23/05/2025

**José Renato Alves Schmidt**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3335-2534>

Fundacentro, Brasil

E-mail: [jose.schmidt@fundacentro.gov.br](mailto:jose.schmidt@fundacentro.gov.br)

**Arline Sydneia Abel Arcuri**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7726-9241>

Servidora aposentada da Fundacentro, Brasil

E-mail: [aarcuri@uol.com.br](mailto:aarcuri@uol.com.br)

**Jefferson Peixoto da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7293-4895>

Fundacentro, Brasil

E-mail: [jose.schmidt@fundacentro.gov.br](mailto:jose.schmidt@fundacentro.gov.br)

**Luís Renato Balbão Andrade**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6867-5547>

Servidor aposentado da Fundacentro, Brasil

E-mail: [andrade.luisrenato@gmail.com](mailto:andrade.luisrenato@gmail.com)

**Maria de Fátima Torres Faria Viegas**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7980-9077>

Fundacentro, Brasil

E-mail: [maria.viegas@fundacentro.gov.br](mailto:maria.viegas@fundacentro.gov.br)

**Valéria Ramos Soares Pinto**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9659-2239>

Fundacentro, Brasil

E-mail: [valeria.pinto@fundacentro.gov.br](mailto:valeria.pinto@fundacentro.gov.br)

### **Resumo**

A crescente utilização de nanomateriais (NMs) em diversos setores econômicos eleva a preocupação com os riscos ocupacionais associados à sua manipulação. Este artigo tem por objetivo apresentar a NanoCB-Fundacentro, uma ferramenta desenvolvida para auxiliar na gestão de riscos ocupacionais relacionados à manipulação de NMs em ambientes internos. A ferramenta foi elaborada a partir de uma análise criteriosa de 15 métodos de controle de bandas que permitiu identificar as variáveis mais relevantes (severidade e probabilidade) e as abordagens mais eficazes. As variáveis de severidade do dano incluem morfologia, mutagenicidade/genotoxicidade, carcinogenicidade, sensibilização respiratória, toxicidade reprodutiva e solubilidade. As variáveis de probabilidade de exposição incluem, entre outras, pulverulência, frequência, duração e quantidade. Como resultado, a NanoCB-Fundacentro incorporou um processo de avaliação que contempla as medidas de controle já existentes no ambiente de trabalho, indo além das variáveis tradicionalmente consideradas por outras ferramentas. Essa abordagem oferece uma estrutura sistemática para a categorização da severidade de danos NMs e da probabilidade de exposição, possibilitando a determinação do nível de risco — classificado em baixo, médio, alto ou muito alto. A partir dessa classificação, a ferramenta também avança com relação aos outros modelos analisados, ao fornecer recomendações específicas para cada nível de risco, orientando as ações de controle e mitigação necessárias. Conclui-se, assim, que a NanoCB-Fundacentro preenche uma lacuna importante na avaliação de riscos ocupacionais associados aos NMs, destacando-se por sua aplicabilidade prática, abrangência metodológica e facilidade de uso em distintos contextos laborais.

**Palavras-chave:** Avaliação de riscos ocupacionais; Gestão de riscos ocupacionais; Nanomateriais; Nanotecnologia; Controle de bandas.

### **Abstract**

The growing application of nanomaterials (NMs) across a wide range of economic sectors has raised significant concerns regarding occupational risks associated with their handling. This article presents NanoCB-Fundacentro, a tool developed to support the management of occupational risks in indoor environments where NMs are present. The

tool was designed based on a critical analysis of 15 control banding methodologies, enabling the identification of the most relevant variables—severity and probability—as well as the most effective risk assessment approaches. Severity-related variables include morphology, mutagenicity/genotoxicity, carcinogenicity, respiratory sensitization, reproductive toxicity, and solubility. Probability-related variables encompass dustiness, frequency, duration, and quantity of exposure, among others. A key innovation of NanoCB-Fundacentro is its integration of existing control measures in the workplace as part of the risk assessment process, going beyond the variables traditionally considered by other tools. This enables a more comprehensive and realistic evaluation framework for categorizing both the severity of potential health effects and the likelihood of exposure. The tool classifies risk levels as low, medium, high, or very high, and uniquely provides specific recommendations tailored to each level. These recommendations guide users in implementing appropriate control and mitigation strategies. In conclusion, NanoCB-Fundacentro addresses a critical gap in the evaluation of occupational risks associated with nanomaterials. It distinguishes itself through its practical applicability, methodological breadth, and user-friendly interface, making it suitable for a wide range of work contexts.

**Keywords:** Occupational risk assessment; Occupational Risk Management; Nanomaterials; Nanotechnology; Control banding.

### Resumen

El creciente uso de nanomateriales (NMs) en diversos sectores económicos aumenta la preocupación por los riesgos ocupacionales asociados a su manipulación. Este artículo tiene como objetivo presentar la NanoCB-Fundacentro, una herramienta desarrollada para apoyar la gestión de riesgos ocupacionales relacionados con la manipulación de NMs en ambientes interiores. La herramienta fue elaborada a partir de un análisis exhaustivo de 15 métodos de bandas de control, que permitió identificar las variables más relevantes (severidad y probabilidad) y los enfoques más eficaces. Las variables de severidad del daño incluyen morfología, mutagenicidad/genotoxicidad, carcinogenicidad, sensibilización respiratoria, toxicidad reproductiva y solubilidad. Las variables de probabilidad de exposición incluyen, entre otras, la pulverulencia, la frecuencia, la duración y la cantidad. Como resultado, la NanoCB-Fundacentro incorpora un proceso de evaluación que contempla las medidas de control ya existentes en el entorno laboral, y va más allá de las variables tradicionalmente consideradas por otras herramientas. Este enfoque ofrece una estructura sistemática para la categorización de la severidad del daño de los NMs y de la probabilidad de exposición, lo que permite determinar el nivel de riesgo — clasificado como bajo, medio, alto o muy alto. A partir de esta clasificación, la herramienta también avanza respecto a los demás modelos analizados, al proporcionar recomendaciones específicas para cada nivel de riesgo, orientando las acciones necesarias de control y mitigación. Se concluye así que la NanoCB-Fundacentro cubre una importante laguna en la evaluación de los riesgos ocupacionales asociados a los NMs, destacándose por su aplicabilidad práctica, amplitud metodológica y facilidad de uso en distintos contextos laborales.

**Palabras clave:** Evaluación de riesgos laborales; Gestión de Riesgos Ocupacionales; Nanomateriales; Nanotecnología; Control de banda.

## 1. Introdução

A nanotecnologia (NT) se caracteriza como área de estudo multidisciplinar, dedicada à manipulação da matéria em escala atômica e molecular. Sua essência reside na compreensão, desenvolvimento e fabricação de materiais com dimensões nanométricas, usualmente entre 1 e 100 nanômetros (nm) (International Organization for Standardization [ISO], 2023). Nessa escala, os materiais nanoestruturados exibem propriedades únicas, muitas vezes distintas de suas contrapartes macroscópicas (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2019).

Os nanomateriais (NMs), em particular, apresentam um leque de propriedades físico-químicas que podem divergir significativamente dos materiais em escala macro, inclusive em interações biológicas (Baig, Kammakam & Falath, 2021; Sajid, 2022). Essa singularidade os torna atraentes para uma ampla gama de aplicações, desde a agricultura e a indústria automotiva até produtos de cuidado pessoal, eletrônicos, alimentos, indústria da construção civil, saúde, têxteis e tratamento de água e esgoto (Sathish et al., 2024; StatNano, 2025).

O mercado global já reflete essa realidade, com mais de 11 mil produtos contendo NMs, produzidos por cerca de 4 mil empresas em 68 países, liderados por Estados Unidos, China, Alemanha, Reino Unido e Suíça (StatNano, 2025). Em 2023, o tamanho desse mercado foi avaliado em USD 10,33 bilhões, com projeções indicando que atingirá USD 161,46 bilhões até 2031 (Data Bridge Market Research, 2025).

No entanto, o crescente uso de nanomateriais também levanta preocupações significativas, especialmente em relação

aos riscos ocupacionais (Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho [Fundacentro], 2018). Os trabalhadores envolvidos na produção, manipulação ou descarte de nanomateriais estão potencialmente expostos a uma série de riscos ocupacionais devido às características únicas dessas substâncias. A literatura científica indica que a exposição pode ocorrer por inalação, contato dérmico e ingestão acidental, levando a potenciais efeitos adversos à saúde, como inflamação pulmonar, estresse oxidativo, genotoxicidade e fibrose (Mohammadi & Galera, 2023).

Risco ocupacional é definido como a combinação da probabilidade de ocorrer lesão ou agravo à saúde causados por um evento perigoso e/ou exposição a agente nocivo e/ou exigência da atividade de trabalho com a severidade dessa lesão ou agravo à saúde (ISO, 2018).

Para estimar o risco ocupacional na manipulação de NM, métodos qualitativos têm tido a preferência com relação aos quantitativos, uma vez que estes apresentam dificuldades quanto à técnica, métrica e aparelhos adequados para avaliação (Andrade, 2013; Schmidt, 2020).

Além de também existir a dificuldade de comparação dos resultados obtidos devido à ausência de regulamentação de limites para NM (Fundacentro, 2018). Uma das principais estratégias de avaliação qualitativa é a utilização dos chamados Controle de Bandas (CB), que vêm sendo amplamente utilizados por vários pesquisadores ao longo dos últimos anos, devido à simplicidade que oferecem na avaliação do risco ocupacional (Schmidt et al., 2023).

A avaliação de riscos faz parte do processo de gerenciamento, que não se limita a essa etapa, sendo fundamental especialmente devido às incertezas inerentes aos nanomateriais e à falta de regulamentação abrangente (Chávez-Hernández et al., 2024). Nesse sentido, uma abordagem voltada a identificar, avaliar e mitigar esses riscos é essencial para garantir o desenvolvimento seguro e responsável de produtos e aplicações nanotecnológicas, promovendo a inovação sem prescindir da minimização dos impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente (Isigonis et al., 2019), posto que a adoção de estratégias robustas de gerenciamento de riscos é essencial para reduzir os impactos adversos da exposição a nanomateriais, protegendo trabalhadores, consumidores e o meio ambiente. Este artigo tem por objetivo apresentar a NanoCB-Fundacentro, uma ferramenta desenvolvida para auxiliar na gestão de riscos ocupacionais relacionados à manipulação de NMs em ambientes internos.

A ferramenta de gestão desenvolvida no presente trabalho busca contribuir para a melhoria da segurança e saúde dos trabalhadores nos ambientes e processos de trabalho através do desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar na avaliação qualitativa e controle dos riscos ocupacionais associados à manipulação de nanomateriais em suas diversas aplicações, com foco em ambientes internos.

## 2. Método

O presente estudo é um relato de experiência de um estudo de natureza qualitativa (Pereira et al., 2018; Barros, 2024; Mussi, Flores & Almeida, 2021) o qual foi voltado para o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar a avaliação e controle do risco ocupacional envolvendo nanomateriais.

A construção da NanoCB-Fundacentro teve como ponto inicial a identificação de propostas de ferramentas de avaliação qualitativa de riscos ocupacionais envolvendo CB para a manipulação de nanomateriais, considerando as variáveis de perigo e de exposição por elas utilizadas. Para tanto, foram selecionadas as ferramentas escolhidas por Schmidt et al. (2023), acrescidas de outras selecionadas através de pesquisa bibliográfica do tipo revisão narrativa ou tradicional (Batista & Kumada, 2021; Cavalcanti & Oliveira, 2000) que contemplou a análise de diferentes tipos de documentos encontrados (artigos, teses, anais e textos on-line). Nesse âmbito, foram utilizadas as bases de dados PubMed, Scopus, Google Scholar, Microsoft Academics, com a utilização das palavras-chave: “Control Banding”; “Risk Management”, “Occupational Risk Assessment”; “Nanomaterials”.

Esse processo permitiu a identificação, incluindo as ferramentas escolhidas por Schmidt, et al. (2023), de 15 ferramentas elegíveis para a análise: (1) CB ANSES (Ostiguy et al. 2010); (2) ISO TS 12901-2 (ISO, 2014); (3) NanoSafer (Jensen, 2016); (4) CB Nanotool (Paik, Zalk & Swuste, 2008); (5) GoodNanoGuide (2009); (6) CB IMEC (Van Hoornick, Prodanov & Pardon, 2017); (7) CB Simeone (Simeone et al., 2019); (8) SST/LabNano (Andrade, 2013); (9) Stoffenmanager Nano (Van Duuren-Stuurman et al., 2012) e (10) Working Safely (European Commission [EU Commission], 2013); (11) CB NanoSafe III ( Buitrago et al., 2021); (12) Ivam guidance (Cornelissen et al., 2011); (13) EPFL tool (Groso et al., 2016); (14) CB GRIDELET (Gridelet et al., 2015); (15)CB EC (EUROPEAN COMMISSION, 2014).

Diante disso, foram escolhidas as variáveis de severidade e de probabilidade de exposição referidas em mais de 50% dos métodos estudados. Para a categoria severidade, escolheu-se as variáveis: morfologia, mutagenicidade/genotoxicidade, carcinogenicidade, sensibilização respiratória, toxicidade reprodutiva, solubilidade. Já para a de probabilidade de exposição, as escolhidas foram: pulverulência, frequência, duração, a quantidade.

Com base no Princípio da Precaução, outras variáveis consideradas importantes para o processo de avaliação de riscos ocupacionais também foram contempladas, conforme os Quadros 8 a 11.

### 3. Resultados

Descrevem-se aqui as etapas para avaliação do risco e as recomendações de controle desenvolvidas pela ferramenta NanoCB-Fundacentro visando auxiliar na gestão de riscos ocupacionais relacionados à manipulação de NMs.

#### 3.1 Categoria de severidade

A categorização da severidade do possível dano dos nanomateriais foi realizada com base em um conjunto estruturado de critérios de avaliação, conforme descrito nos Quadros 1 a 5. A abordagem adotada permitiu a classificação sistemática dos materiais de acordo com seu potencial de risco, levando em consideração propriedades como morfologia, genotoxicidade, carcinogenicidade, sensibilização respiratória, toxicidade reprodutiva e solubilidade.

Para a determinação da categoria de severidade, é necessário que o usuário da ferramenta responda a uma série de questões conforme o fluxo descrito no Quadro 1 para as informações referentes ao nanomaterial e, nos Quadros 2 a 5, para o material macro. Cada questão indicará um índice; entretanto, em alguns casos, a resposta da questão apontará diretamente a categoria de severidade **GRAVE**, cuja instrução subjacente deve ser adotada independentemente do restante das questões da mesma categoria. Ao término, exceto nesses casos em que a categoria de severidade for diretamente indicada, os índices obtidos pelas respostas devem ser somados.

**Quadro 1** - Informações referentes ao nanomaterial (escala nanométrica).

Questões	Resposta	Categoria de severidade	Índice	Instrução
a) O nanomaterial pode ser enquadrado no paradigma da fibra?	Sim	Grave	*****	Siga direto para a determinação da categoria de probabilidade (Quadros 7-14)
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	4	Siga para a próxima questão
b) O nanomaterial apresenta mutagenicidade / genotoxicidade?	Sim	Grave	*****	Siga direto para a determinação da categoria de probabilidade (Quadros 7-14)
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	2	Siga para a próxima questão

c) O nanomaterial apresenta carcinogenicidade?	Sim	Grave	*****	Siga direto para a determinação da categoria de probabilidade (Quadros 7-14)
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	4	Siga para a próxima questão
d) O nanomaterial provoca sensibilização respiratória?	Sim	Grave	*****	Siga direto para a determinação da categoria de probabilidade (Quadros 7-14)
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	2	Siga para a próxima questão
e) O nanomaterial apresenta toxicidade reprodutiva	Sim	Grave	*****	Siga direto para a determinação da categoria de probabilidade (Quadros 7-14)
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	2	Siga para a próxima questão
f) O nanomaterial é insolúvel?	Sim	*****	2	Siga para a próxima questão
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	1	Siga para a próxima questão
g) O nanomaterial apresenta efeitos severos agudos (risco de morte/ toxicidade aguda)	Sim	*****	3	Siga para a próxima questão
	Não	*****	0	Siga para a próxima questão
	Não sei	*****	2	Siga para a próxima questão
h) O nanomaterial provoca corrosão/irritação/dano em olho e/ou pele	Sim	*****	3	Siga para os Quadros 2-5
	Não	*****	0	Siga para os Quadros 2-5
	Não sei	*****	2	Siga para os Quadros 2-5

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Nas situações em análise, deverão ser selecionadas as frases H compatíveis com o material em questão, em escala macro, e escolhido o maior índice correspondente, de acordo com os grupos dos Quadros 2 a 5, visto que um mesmo material pode constar em mais de um grupo na tabela, com índices distintos.

**Quadro 2** - Informações referentes ao material macro (escala NÃO nanométrica), grupo A.

Indicação da FRASE H segundo o GHS	Índice
GRUPO A - GHS	*****
H303 Pode ser nocivo se ingerido	0 (zero) Severidade leve
H304 Pode ser fatal se ingerido e penetrar nas vias respiratórias	
H305 Pode ser nocivo se ingerido e penetrar nas vias respiratórias	
H313 Pode ser nocivo em contato com a pele	
H315 Provoca irritação à pele	
H316 Provoca irritação moderada à pele	
H319 Provoca irritação ocular grave	
H320 Provoca irritação ocular	
H333 Pode ser nocivo se inalado	
H336 Pode provocar sonolência ou vertigem	

Fonte: ABNT NBR 14725 (2024).

**Quadro 3** - Informações referentes ao material macro (escala NÃO nanométrica), grupo B.

GRUPO B - GHS	*****
H302 Nocivo se ingerido	0(zero) Severidade leve
H312 Nocivo em contato com a pele	
H332 Nocivo se inalado	
H371 Pode provocar danos aos órgãos (indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos) se (indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	

Fonte: ABNT NBR 14725 (2024).

**Quadro 4** - Informações referentes ao material macro (escala NÃO nanométrica), grupo C.

GRUPO C - GHS	*****
H301 Tóxico se ingerido	4 (quatro) Severidade mediano
H311 Tóxico em contato com a pele	
H314 Provoca queimadura severa à pele e dano aos olhos	
H317 Pode provocar reações alérgicas na pele	
H318 Provoca lesões oculares graves	
H331 Tóxico se inalado	
H335 Pode provocar irritação das vias respiratórias	
H370 Provoca danos aos órgãos (indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos) se (indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	
H373 Pode provocar danos aos órgãos (indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos) por exposição repetida ou prolongada (indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	

Fonte: ABNT NBR 14725 (2024).

**Quadro 5** - Informações referentes ao material macro (escala NÃO nanométrica), grupo D.

GRUPO D - GHS	*****
H300 Fatal se ingerido	6 (seis) Severidade grave
H310 Fatal em contato com a pele	
H330 Fatal se inalado	
H351 Suspeito de provocar câncer (descrever a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	
H360 Pode prejudicar a fertilidade ou o feto (indicar o efeito específico, se conhecido) se ... (indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	
H361 Suspeita-se que prejudique a fertilidade ou o feto (indicar o efeito específico, se conhecido) se (indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	
H362 Pode ser nocivo às crianças alimentadas com leite materno	
H372 Provoca danos aos órgãos (indicar todos os órgãos afetados, se conhecidos) por exposição repetida ou prolongada (indicar a via de exposição, se for conclusivamente comprovado que nenhuma outra via de exposição provoca o dano)	

Fonte: ABNT NBR 14725 (2024).

Tendo em conta que as características do material macro não podem ser simplesmente usadas para o material em escala nanométrica, dois pressupostos fundamentais foram incorporados ao fluxo de determinação da categoria de severidade.

1. Se todas as respostas de todas as questões sobre o nanomaterial forem “NÃO SEI”, a severidade será

considerada como de categoria GRAVE, independente das informações sobre o material não nanométrico.

2. As informações sobre o material em escala não nanométrica nunca diminuirão a categoria de severidade determinada pelas características nanométricas. Assim, as informações da escala não nanométrica apenas corroboram ou agravam a categoria obtida.

O fluxo da determinação da categoria de severidade se encerra sempre que uma questão apontar a categoria grave, devendo seguir para o fluxo da determinação da probabilidade (Quadros 7 a 14).

### 3.1.1 Determinação da categoria de severidade

A soma dos índices obtidos para cada resposta das questões do Quadro 1, juntamente com o maior índice encontrado nos Quadros 2 a 5, deve ser enquadrada conforme o Quadro 6, determinando a categoria de severidade.

**Quadro 6** - Categoria de severidade correspondente à soma dos índices.

Intervalo da soma dos índices	Categoria de severidade
Entre 0 e 7	Leve
Entre 8 e 19	Moderada
Maior ou igual a 20	Grave

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

### 3.2 Categoria de probabilidade

Para a determinação da categoria de probabilidade de ocorrência de dano, é necessário responder a uma série de questões sobre o processo de realização da tarefa (Quadro 7) e considerar as medidas de controle existentes, conforme Quadros 8 a 11. As respostas ao Quadro 7 devem considerar o dia de maior intensidade de trabalho.

**Quadro 7** - Processo de realização da tarefa.

Questões	Resposta	Detalhes	Índice	Resultado
a) A pulverulência do material é?	Pouca	Não se espera a formação de pó	-2	
	Meio termo	É esperado pouca formação de pó	2	
	Muita	A formação de pó é esperada	6	
	Não sei	***	4	
b) Qual a frequência do uso do nanomaterial?	Pouco frequente	1 vez ao mês ou menos	-2	
	Frequente	1 ou mais vezes por semana	0	
	Continuada	1 vez ou mais vezes ao dia	2	
c) Qual a duração diária da tarefa?	Breve	Menor que 0,5h	-2	
	Intermediária	entre 0,5h e 4h	0	
	Longa	Maior que 4h	2	

d) Qual é a quantidade de nanomaterial manipulada na tarefa/dia?	Muito Pequena	Menor que 1g (ml)	-2
	Pequena	1 a 10 g (ml)	-1
	Moderada	Maior que 10g (ml) – menor que 1kg (L)	0
	Grande	1-10 Kg (L)	1
	Muito Grande	Maior que 10kg (L)	2
	Desconhecida	Quantidade desconhecida	2

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

**Quadro 8 - Controles de Engenharia (Equipamentos de Proteção Coletiva-EPC).**

Situação	Industrial	Laboratório	Faixa de eficiência	Índice	Resultado
Qual o controle de ventilação (EPC) existente?	Contenção completa	Contenção completa: caixa de luva	Muito eficiente	-4	
	Ventilação local exaustora	Ventilação fechada: cabine ventilada, capela	Eficiente	-1	
	Ventilação geral exaustora/diluidora	Ventilação local: exaustora, capa protetora, cobertura de mesa etc.	Pouco eficiente	0	
	Sem nenhum controle	Sem nenhum controle	***	2	
<b>A pergunta abaixo somente se aplica caso exista EPC</b>					
Qual o tipo de manutenção do controle de ventilação (EPC) existe?	Manutenção completa no(s) EPC(s)		Eficiente	-2	
	Manutenção incompleta ou deficiente		Pouco Eficiente	1	
	Manutenção inexistente		***	2	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

**Quadro 9 - Medidas administrativas.**

Descrição	Faixa de eficiência	Índice	Resultado
Existe um Programa de Proteção Respiratória (PPR) implantado e em uso	Eficiente	2	
Não existe um Programa de Proteção Respiratória (PPR) implantado	***		

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

**Quadro 10 - Equipamentos de proteção individuais (EPIs)**

Descrição	Faixa de eficiência	Índice	Resultado
Utilização de máscara de proteção de acordo com critério de escolha e de utilização de um profissional habilitado	Eficiente	-1	
Utilização de máscara de proteção SEM critério de escolha e de utilização de um profissional habilitado	Pouco eficiente	0	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

**Quadro 11** - Outras medidas implantadas e que sejam enquadradas como eficientes pelo avaliador.

Descrição	Faixa de eficiência	Índice	Resultado
Descrição da medida de controle	Eficiente	-1	
	Pouco eficiente ou ineficiente	0	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Para auxiliar a determinação das categorias de probabilidade devem ser usadas as faixas de frequência auxiliares apresentadas no Quadro 12.

**Quadro 12** - Descrição das faixas auxiliares.

FAIXA PARA PULVERULÊNCIA				
Pouca	Meio-termo		Muita	
Não se espera a formação de pó	É esperado pouca formação de pó		A formação de pó é esperada	
FAIXA PARA FREQUÊNCIA				
Pouco frequente	Frequente		Continuada	
1 vez ao mês ou menos	1 ou mais vezes por semana		1 vez ou mais vezes ao dia	
FAIXA PARA DURAÇÃO (por dia)				
Breve	Intermediária		Longa	
Menor que 0,5h	entre 0,5h e 4h		Maior que 4h	
FAIXA PARA QUANTIDADE (por dia)				
Muito Pequena	Pequena	Moderada	Grande	Muito Grande
menor que 1g (ml)	1 a 10 g (ml)	maior que 10g (ml) – menor que 1kg (L)	1-10 Kg (L)	maior que 10kg (L) ou desconhecido

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

**Quadro 13** - Faixa de eficiência e medidas de controle de risco correspondentes.

Faixa	Correspondência entre medida de controle e eficiência		
	Ventilação	EPI	Outras medidas
Muito eficiente	Enclausuramento	***	
Eficiente	Exaustão	Uso correto do EPI adequado de acordo com o PPR	
Pouco eficiente	Natural / diluição	Uso correto do EPI adequado na ausência do PPR	
Ineficiente	Sem nenhum controle	Não uso, uso incorreto ou - EPI inadequado	

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

Após a soma dos índices obtidos para cada resposta das questões apresentadas no Quadro 7, juntamente com a soma dos índices das medidas de controle obtidos nos Quadros 8 a 11, o enquadramento da situação deve ser realizado conforme indicado no Quadro 14, determinando a categoria de probabilidade.

**Quadro 14** - Intervalos da soma dos índices correspondentes às categorias de probabilidade.

Intervalo da soma dos índices	Categoria de probabilidade
Entre -16 e -6	Improvável
Entre e -5 e 6	Provável
Acima de 7	Muito provável

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

### 3.3 Categoria do nível de risco

De posse dos resultados das categorias de severidade (Quadro 6) e de probabilidade (Quadro 14), a matriz de risco do Quadro 15 permitirá determinar o nível de risco.

**Quadro 15** - Matriz de definição de nível de risco.

Categoria de probabilidade	Categorias de severidade		
	Leve	Mediana	Grave
Muito provável	Nível médio	Nível alto	Nível muito alto <sup>1</sup> .
Provável	Nível baixo	Nível médio	Nível alto
Improvável	Nível baixo	Nível baixo	Nível médio

Fonte: Elaborado pelos Autores (2025).

#### 3.3.1 Pressupostos da matriz de risco.

O processo de formulação da matriz de risco seguiu alguns pressupostos que fundamentam a sua aplicação, conforme o seguinte:

- 1) Um produto cuja severidade é grave, ao ser utilizado em um sistema fechado (enclausuramento) terá seu nível de risco classificado como médio. Para tal, o uso do enclausuramento tem de apontar improvável para a categoria de probabilidade.
- 2) Nenhuma situação em que a probabilidade seja muito provável poderá ser colocada como nível de risco baixo, mesmo para severidade considerada leve.
- 3) Nenhuma situação em que a severidade seja grave poderá ser colocada como nível de risco baixo.
- 4) Devem ser feitos esforços para alcançar a situação do nível de risco baixo (leia-se: deve-se adotar medidas preventivas com tal fim).
- 5) Nenhuma situação deve permanecer no nível de risco alto, ou seja, esforços devem ser feitos para re enquadrar a situação, no mínimo, como nível de risco médio, preferencialmente nível de risco baixo, por meio da adoção de medidas preventivas/corretivas.
- 6) Nenhuma situação deve ser mantida se apontada como de risco muito alto. A atividade deve ser interrompida imediatamente e só poderá ser retomada se medidas de controle de riscos foram adotadas e o nível de risco rebaixado, com base no princípio da precaução.

### 3.4 Recomendações para os níveis de risco

#### 3.4.1 Risco baixo se refere a uma situação sob controle, mas passível de acompanhamento:

- As medidas de controle existentes devem ser mantidas, sem descuidar das manutenções preventivas periódicas.
- Nenhum controle adicional é necessário, entretanto é possível estudar, de forma mais detalhada, alterações que impliquem em ganho de qualidade de vida.
- O acompanhamento é necessário para assegurar que os controles sejam mantidos.
- Treinamento/capacitação não são prioritários, embora sejam sempre desejáveis.
- Usar capela de exaustão com filtragem HEPA (*High Efficiency Particulate Air*) para laboratório ou similar para ambiente industrial.

<sup>1</sup> Observação: a atividade deve ser interrompida imediatamente. Veja item 3.4.4.

- Acesso controlado por avisos e normas internas.
- Tarefas poderão ser executadas fora do horário de trabalho por apenas uma pessoa desde que haja comunicação do fato, sob adoção de medidas protetivas associadas ao contexto de mudança que isso representa/atenção que requer.

#### **3.4.2 Risco médio se refere a uma situação a melhorar ou a eliminar, se possível:**

- Devem ser feitos esforços para reduzir o risco.
- As medidas de redução de risco devem ser implementadas dentro de um período definido, considerando a viabilidade técnica, os recursos disponíveis e outras prioridades de SST.
- Quando o risco médio é associado a consequências extremamente prejudiciais, considerar a consulta a um especialista.
- Treinamento/capacitação de forma periódica e focada nos riscos envolvidos é necessária.
- Embora identificado como médio, este nível não pode ser: (a) ignorado no sentido de não ser tomada nenhuma atitude para mitigação dos riscos; (b) negligenciado no sentido de ter baixa prioridade e, portanto, nunca ser alvo das atenções e; (c) banalizado no sentido de tomar este nível como não significativo ou digno de atenção.
- Usar capela de exaustão com filtragem HEPA para laboratório, ou similar para ambiente industrial.
- Acesso controlado por meio de documentação.
- As tarefas poderão ser executadas fora do horário de trabalho por no mínimo duas pessoas, sob adoção de medidas protetivas associadas ao contexto de mudança que isso representa/atenção que requer.

#### **3.4.3 Risco alto se refere a uma situação a corrigir**

A intervenção para a diminuição do risco deve ser mandatória e deve iniciar por medidas de proteção coletiva. Estas intervenções devem ser priorizadas em curto prazo.

- Como regra geral, as situações de risco alto não devem existir, mas se for imprescindível sua existência, cuidados especiais devem ser adotados, incluindo o treinamento/capacitação específico e revisto com frequência. A continuidade da atividade deve ser extremamente limitada, pois medidas de controle de engenharia, administrativas ou uso de equipamentos de proteção individual são necessários para reduzir o risco, pelo menos, ao nível médio.
- No que couber, planos específicos devem ser adotados, tais como: plano de controle de emergências, plano de primeiros socorros, planos de evacuação etc.
- Situações que estejam alocadas neste nível devem possuir controle próprio adequado através de procedimentos operacionais (ou guias de boas práticas) previamente definidos e de conhecimento de todos.
- Medidas temporárias deverão ser adotadas até que as intervenções definitivas estejam disponíveis.
- Deve ser utilizado sistema fechado.
- Preferencialmente adotar controle eletrônico de acesso às áreas, situações ou atividades de risco alto.
- Não deve ser permitida a execução de tarefas fora do horário normal de trabalho.
- Deve ser fornecido serviço de lavanderia (vestimentas contaminadas não devem ser levadas para casa).
- A capacitação em SST deve ser revista anualmente ou na mudança do processo.

#### **3.4.4 Risco muito alto se refere a uma situação a corrigir urgentemente mediante interrupção**

Dada a gravidade da situação e considerados todos os protocolos nacionais e internacionais que versam sobre o direito à preservação da vida, bem como a integridade da própria produção e as demais variáveis envolvidas, como o entorno e as comunidades locais, uma atividade que for enquadrada no nível de risco Muito Alto deve ser interrompida imediatamente. Não se deve retomar a atividade até que medidas de diminuição do risco tenham sido adotadas. Na hipótese de que, mesmo diante de recursos ilimitados, não seja possível mitigar o risco, a atividade deve ser proibida.

### **4. Discussão**

Para auxiliar a determinação da severidade do dano causado por nanomateriais, o conhecimento disponível sobre o mesmo material em escala não nanométrica (macro) foi considerado útil, tendo em vista a escassez de informações que ainda prevalece sobre os seus reais efeitos adversos. Essa abordagem é apoiada por estudos que destacam a importância de utilizar informações sobre materiais em escala macroscópica para inferir possíveis impactos dos nanomateriais (Domingues et al., 2022). Consonante a isso, a ferramenta NanoCB-Fundacentro leva em conta informações dos testes toxicológicos disponíveis para os NM em questão, além de dados sobre suas propriedades físico-químicas. Os testes toxicológicos que a ferramenta prevê, englobam tanto características toxicológicas gerais (toxicidade aguda) quanto específicas (mutagenicidade, genotoxicidade, carcinogenicidade, reprodução, sensibilidade respiratória bem como corrosão/irritação/dano em olho e/ou pele). Por outro lado, os modelos de avaliação de risco encontrados na literatura costumam incorporar apenas informações sobre toxicologia específica (Andrade, 2013; Paik et al., 2008; Simeone et al., 2019), sendo que os testes envolvendo toxicidade aguda geralmente não são incluídos.

Quanto à avaliação da probabilidade de exposição da ferramenta, por sua vez, foram incorporadas variáveis críticas também presentes nos principais modelos de risco, tais como: duração, frequência, quantidade manipulada, formação de poeira. Nesse sentido, um aspecto inovador é a expansão da abordagem para abranger não apenas as grandezas típicas de escala laboratorial, mas também parâmetros aplicáveis à escala industrial como no modelo de Gridelet et al. (2015), garantindo uma maior representatividade das diferentes realidades ocupacionais.

Uma lacuna significativa identificada na revisão de literatura foi a baixa valorização das medidas de controle por parte dos modelos existentes. A maioria das ferramentas disponíveis não incorpora variáveis relacionadas à presença de equipamentos de proteção coletiva (EPC), medidas administrativas e equipamentos de proteção individual (EPI), na avaliação da probabilidade de exposição e, conseqüentemente, na estimativa do risco final (Ostiguy et al., 2010; European Commission, 2014; Gridelet et al., 2015; Groso et al., 2016). Esse aspecto representa uma limitação importante, pois desconsidera o impacto das estratégias de mitigação já implementadas no ambiente de trabalho, ou mesmo da importância de implementá-las.

Com vistas a suprir essa lacuna, a NanoCB-Fundacentro propõe uma abordagem mais abrangente e integrada, pois inclui recomendações de segurança que vão além das proteções coletivas tradicionalmente consideradas em outras ferramentas tais como: Buitrago et al., (2021); ISO (2014); Van Hoornick et al. (2017); Van Duuren-Stuurman et al. (2012). Para isso, foram incorporadas variáveis complementares, abrangendo categorias específicas de medidas preventivas e componentes críticos para a gestão segura dos nanomateriais em diferentes contextos industriais e laboratoriais, conforme apresentado nos Quadros 8 a 11.

### **5. Conclusão**

A ferramenta NanoCB-Fundacentro constitui um avanço relevante no apoio à gestão de riscos ocupacionais relacionados à manipulação de nanomateriais. Sua abordagem de avaliação qualitativa incorpora a análise das medidas de controle já implementadas nos ambientes laborais, permitindo a proposição de recomendações de segurança alinhadas aos

resultados obtidos. Dessa forma, a ferramenta contribui para suprir uma lacuna na gestão de segurança e saúde no trabalho (SST) com ênfase em contextos produtivos que envolvem a aplicação de nanotecnologia.

A importância da NanoCB-Fundacentro reside em sua capacidade de auxiliar, de modo abrangente, na identificação, avaliação e controle dos riscos inerentes aos nanomateriais, mesmo diante das incertezas e da escassez de regulamentação específica. Ao incorporar o Princípio da Precaução em sua elaboração, a ferramenta prioriza a proteção dos trabalhadores e do meio ambiente, adotando uma abordagem preventiva, proativa e socialmente comprometida.

Fornece, com isso, subsídio técnico para que as empresas implementem medidas de controle adequadas, reduzam a probabilidade de exposição e minimizem os potenciais impactos negativos dos nanomateriais à saúde e ao meio ambiente. Ao fazê-lo, contribui para processos de trabalho mais seguros e saudáveis, promovendo a inovação responsável e o desenvolvimento sustentável da nanotecnologia.

Em suma, a NanoCB-Fundacentro é uma ferramenta essencial para o gerenciamento de riscos envolvendo nanomateriais, permitindo que as empresas tomem decisões fundamentadas e implementem práticas seguras nos processos de trabalho que envolvem esses materiais. Sua aplicação poderá contribuir significativamente para a consolidação de uma cultura preventiva e para a promoção de ambientes de trabalho mais seguros e sustentáveis.

## Agradecimentos

Agradecimentos: Aos integrantes da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente – Renanosoma, pela colaboração desde o projeto “Impactos da nanotecnologia e outras novas tecnologias na saúde dos trabalhadores e meio ambiente”, desenvolvido na Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho – Fundacentro, que lançou as bases para o avanço das ações institucionais na temática; ao Ministério Público do Trabalho, Grupo Nano, em especial a Patrick Merísio e Guilherme Kirtschig, pelo diálogo estabelecido e pelo apoio às iniciativas voltadas à proteção da saúde dos trabalhadores frente aos riscos emergentes das nanotecnologias. Registra-se, ainda, a valiosa contribuição do servidor da Fundacentro, Walter dos Reis Pedreira Filho, no projeto “Desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação de riscos na manipulação de nanomateriais”, do qual o presente artigo resultou.

## Referências

- Andrade, L. R. B. (2013). *Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia*. [Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96396>
- Baig, N., Kammakam, I., & Falath, W. (2021). Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, 2(6), 1821–1871. <https://doi.org/10.1039/d0ma00807a>
- Barros, A. M. D. B. (2024). Manual de trabalhos acadêmico-científicos: relato de experiência. Nova UBM - Centro Universitário de Barra Mansa. Gaia, A. C. A.
- Batista, L. dos S., & Kumada, K. M. O. (2021). Análise metodológica sobre as diferentes configurações da pesquisa bibliográfica. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 8, e021029. <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/113>
- Buitrago, E., Novello, A. M., Fink, A., Riediker, M., Rothen-Rutishauser, B., & Meyer, T. (2021). NanoSafe III: A user friendly safety management system for nanomaterials in laboratories and small facilities. *Nanomaterials*, 11(10), 2768. <https://doi.org/10.3390/nano11102768>
- Cavalcante, L. T. C., & Oliveira, A. A. S. de. (2020). Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. *Psicologia em Revista*, 26(1), 83–102.
- Chávez-Hernández, A., Velarde-Salcedo, A., Navarro-Tovara, R., & Gonzalez, L. (2024). Advances in nanomaterials safety: Emerging concerns and regulatory perspectives. *Journal of Nanotoxicology and Safety*, 18(1), 45–60.
- Cornelissen, R., Jongeneelen, F., van Broekhuizen, P., & van Broekhuizen, F. (2011). *Guidance on working safely with nanomaterials and nanoproducts: The guide for employers and employees*. Dutch Ministry of Social Affairs and Employment. <http://2.36.111.218/cciaa/data/docs/FNV%20-%20Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomat%20products.pdf>
- Data Bridge Market Research. (n.d.). *Global nanotechnology market – Industry trends and forecast to 2030*. Retrieved April 11, 2025, from <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-nanotechnology-market>

- Domingues, C., Santos, A., Alvarez-Lorenzo, C., Concheiro, A., Jarak, I., Veiga, F., Barbosa, I., Dourado, M., & Figueiras, A. (2022). Where is nano today and where is it headed? A review of nanomedicine and the dilemma of nanotoxicology. *ACS Nano*, 16(7), 9994–10041. <https://doi.org/10.1021/acsnano.2c00128>
- Duuren-Stuurman, B. van, Vink, S. R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. A., Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D., van Niftrik, M. F. J., Tielemans, E., & Fransman, W. (2012). Stoffenmanager Nano version 1.0: A web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. *Annals of Occupational Hygiene*, 56(5), 525–541. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mer113>
- European Commission. (2013). *Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work*. <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=13087&langId=en>
- European Commission. (2014). *Guidance for employers and health and safety practitioners on working safely with nanomaterials*. <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/nanotechnologies-and-nanomaterials-guidance-workers>
- Fundação Jorge Duprat Figueiredo de segurança e medicina do trabalho. (2018). *Nota Técnica 01/2018: Os desafios da saúde e segurança no trabalho (SST) para uma produção segura com o uso de nanotecnologia*. <http://antigo.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/Nota%20tecnica%20%2001-2018%20Corrigida%20e%20Revisada.pdf>
- GoodNanoGuide. (2009). *CB GoodNanoGuide*. <https://nanohub.org/groups/gng>
- Gridelet, L., Delbecq, P., Hervé, L., Boissolle, P., Fleury, D., Kowal, S., & Fayet, G. (2015). Proposal of a new risk assessment method for the handling of powders and nanomaterials. *Industrial Health*, 53(1), 56–68. <https://doi.org/10.2486/indhealth.2014-0046>
- Groso, A., Petri-Fink, A., Rothen-Rutishauser, B., Hofmann, H., & Meyer, T. (2016). Engineered nanomaterials: Toward effective safety management in research laboratories. *Journal of Nanobiotechnology*, 14, 21. <https://doi.org/10.1186/s12951-016-0169-x>
- Isigonis, P., Hristozov, D., Benighaus, C., Giubilato, E., Grieger, K., Pizzol, L., Semenzin, E., Linkov, I., Zabeo, A., & Marcomini, A. (2019). Risk governance of nanomaterials: Challenges and opportunities under the precautionary principle. *NanoImpact*, 25, 100410. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2024.100410>
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO/TS 12901-2: Nanotechnologies — Occupational risk management applied to engineered nanomaterials — Part 2: Use of the control banding approach*. <https://www.iso.org/standard/53375.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001: Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use*. [https://www.iso-org.translate.google.com/standard/63787.html?\\_x\\_tr\\_sl=en&\\_x\\_tr\\_tl=pt&\\_x\\_tr\\_hl=pt&\\_x\\_tr\\_pto=tc](https://www.iso-org.translate.google.com/standard/63787.html?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc)
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO/TS 80004-1: Vocabulary — Part 1: Core terms*. <https://www.iso.org/standard/79525.html>
- Jensen, K. A. (2016). *NanoSafer v.1.1 beta*. <http://www.nanosafer.org>
- Mohammadi, P., & Galera, A. (2023). Occupational exposure to nanomaterials: A bibliometric study of publications over the last decade. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 249, 114132. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114132>
- Mussi, R. F. D. F.; Flores, F. F., & Almeida, C. B. D. (2021). Pressupostos para a elaboração de relato de experiência como conhecimento científico. *Revista Práxis Educacional*, 17(48), 60-77.
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Physical-chemical decision framework to inform decisions for risk assessment of manufactured nanomaterials*. [https://one.oecd.org/document/env/jm/mono\(2019\)12/en/pdf](https://one.oecd.org/document/env/jm/mono(2019)12/en/pdf)
- Ostiguy, C., Riediker, M., Triolet, J., Troisfontaines, P., Vermez, D., & Maisons, A. (2010). *Development of a specific control banding tool for nanomaterials* (ANSES Report). <https://www.anses.fr/en/system/files/AP2008sa0407RaEN.pdf>
- Paik, S. Y., Zalk, D. M., & Swuste, P. (2008). Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. *Annals of Occupational Hygiene*, 52(6), 419–428. <https://doi.org/10.1093/annhyg/men041>
- Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free e-book]. Editora da UAB/NTE/UFSM
- Sajid, M. (2022). Nanomaterials: Types, properties, recent advances, and toxicity concerns. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100319>
- Sathish, T., Ahalya, N., Thirunavukkarasu, M., Senthil, T. S., Hussain, Z., Siddiqui, M. I. H., Panchal, H., & Sadasivuni, K. K. (2024). A comprehensive review on the novel approaches using nanomaterials for the remediation of soil and water pollution. *Alexandria Engineering Journal*, 86, 373–385. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.038>
- Schmidt, J. R. A. (2020). Um modelo probabilístico para avaliação do risco ocupacional envolvendo nanomateriais. [Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina]. <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/226765/PGEA0681-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schmidt, J. R. A., Arcuri, A. S. A., Andrade, L. R. B., Viegas, M. F. T. F., & Pinto, V. R. S. (2023). Comparison of specific methods for risk assessment of nanomaterials in research laboratories. *Research, Society and Development*, 12(14), e74121444520. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i14.44520>
- Simeone, F. C., Blosi, M., Ortelli, S., & Costa, A. L. (2019). Assessing occupational risk in designs of production processes of nano-materials. *NanoImpact*, 14, 100149. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2019.100149>
- StatNano. (2025, 16 de abril). *Nanotechnology Products Database*. <http://product.statnano.com>
- Van Hoornick, N., Prodanov, D., & Pardon, A. (2017). Banding approach for engineered nanomaterial risk assessment and control. *Journal of Physics: Conference Series*, 838(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/838/1/012017>