

Comparação de métodos específicos de avaliação de risco de nanomateriais em laboratórios de pesquisa

Comparison of specific methods for risk assessment of nanomaterials in research laboratories

Comparación de métodos específicos para la evaluación de riesgos de nanomateriales en laboratorios de investigación

Recebido: 05/12/2023 | Revisado: 16/12/2023 | Aceitado: 18/12/2023 | Publicado: 20/12/2023

José Renato Alves Schmidt

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

Fundação Centro Nacional de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho, Brasil

E-mail: jose.schmidt@fundacentro.gov.br

Arline Sydneia Abel Arcuri

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

Fundação Centro Nacional de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho, Brasil

E-mail: aarcuri@uol.com.br

Luís Renato Balbão Andrade

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

Fundação Centro Nacional de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho, Brasil

E-mail: luis.andrade@fundacentro.gov.br

Maria de Fátima Torres Faria Viegas

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

Fundação Centro Nacional de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho, Brasil

E-mail: maria.viegas@fundacentro.gov.br

Valéria Ramos Soares Pinto

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

Fundação Centro Nacional de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho, Brasil

E-mail: valeria.pinto@fundacentro.gov.br

Resumo

Os nanomateriais (NMs) podem apresentar propriedades físicas, químicas e biológicas diferentes de seus análogos em escala micro ou maior, molecular ou atômica. A alteração destas propriedades pode modificar ou intensificar os efeitos toxicológicos dos NMs sobre os seres vivos e ao meio ambiente. As distintas propriedades dos NMs ampliaram suas possibilidades de aplicações em diversas áreas tecnológicas e provocaram o aumento significativo da produção. Neste sentido, também aumentou o número de pesquisadores expostos aos NMs em laboratórios. A proposta deste estudo é identificar qual método de avaliação de riscos ocupacionais é o mais adequado para utilização em laboratórios de pesquisa com nanomateriais. Para tanto foram selecionados métodos de avaliação de risco com enfoque de controle por níveis de riscos (control banding - CB) aplicados em laboratórios de pesquisa em três tarefas (processos) distintas e, comparados os resultados obtidos. De maneira geral há convergência entre os métodos em relação aos seus resultados para cada uma das tarefas estudadas, contudo nestas condições foi possível identificar apenas um método que atendeu aos dois critérios de comparação, o CB IMEC.

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

Abstract

Nanomaterials (NMs) can exhibit physical, chemical, and biological properties different from their counterparts at the micro or larger scale, molecular, or atomic level. Altering these properties may modify or intensify the toxicological effects of NMs on living organisms and the environment. The distinct properties of NMs have expanded their potential applications in various technological areas, leading to a significant increase in production. Consequently, the number of researchers exposed to NMs in laboratories has also increased. The aim of this study is to identify the most suitable method for assessing occupational risks in research laboratories working with nanomaterials. To achieve this, risk assessment methods focusing on control through risk levels (control banding - CB) were selected and applied to research laboratories in three different tasks (processes), and the results were compared. In general, there is convergence between the methods regarding their results for each of the studied tasks. However, under these conditions, only one method met both comparison criteria: CB IMEC.

Keywords: Occupational risk assessment; Nanomaterials; Control banding.

Resumen

Los nanomateriales (NMs) pueden presentar propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes a sus análogos a micro o gran escala, ya sea molecular o atómica. La modificación de estas propiedades puede alterar o intensificar los efectos toxicológicos de los NMs en organismos vivos y en el medio ambiente. Las distintas propiedades de los NMs han ampliado sus posibilidades de aplicación en varias áreas tecnológicas, lo que ha llevado a un aumento significativo de su producción. En este sentido, también ha aumentado el número de investigadores expuestos a los NMs en laboratorios. El propósito de este estudio es identificar cuál método de evaluación de riesgos ocupacionales es el más adecuado para su uso en laboratorios de investigación con nanomateriales. Para ello, se seleccionaron métodos de evaluación de riesgos con un enfoque de control por niveles de riesgo (control banding - CB) aplicados en laboratorios de investigación en tres tareas distintas (procesos), y se compararon los resultados obtenidos. En términos generales existe convergencia entre los métodos en cuanto a sus resultados para cada una de las tareas estudiadas. Sin embargo, en estas condiciones, solo fue posible identificar un único método que cumplió con ambos criterios de comparación: el CB IMEC.

Palabras clave: Evaluación de riesgos laborales; Nanomateriales; Control de banda.

1. Introdução

Nanotecnologia (NT) pode ser descrita como a área de estudo preocupada em entender, desenvolver e fabricar diferentes materiais com dimensões nanométricas aproximadamente entre 1-100 nm (International Organization for Standardization [ISO], 2014). Na caracterização dos materiais nanoestruturados devem ser consideradas todas as novas propriedades que eles possam apresentar diferente da escala maior (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2019). Ainda de acordo com a OECD uma nova propriedade é definida como uma propriedade material atípica que tem o potencial de alterar o comportamento da substância e é normalmente a razão para a engenharia intencional do nanomaterial.

Materiais em escala nanométrica, ou simplesmente nanomateriais (NMs), apresentam propriedades físico-químicas e mecanismos biológicos que podem diferir daqueles dos materiais em escala de massa (Sajid, 2022). Os NMs são utilizados em aplicações em diversos campos, incluindo agricultura, automotivo, construção, produtos de cuidado pessoal, eletrônicos, alimentos e embalagens, saúde, têxteis e mecânica (StatNano, 2023). O surgimento de novas propriedades, a intensificação das propriedades pré-existentes, a alta reatividade dos NMs e os efeitos quânticos resultam de um aumento significativo da área superficial em comparação com a contraparte em escala de massa. Essas mudanças podem levar a consequências não intencionais quando entram em contato com sistemas biológicos, com impactos adversos em organismos e no meio ambiente (Buzea & Pacheco, 2019; Liu et al., 2022).

Pesquisas em dezembro de 2023 identificaram 11171 produtos no mercado que contêm algum tipo de NMs em 3910 companhias distribuídas em 68 países, sendo os países com mais produtos industrializados os Estados Unidos, China e Alemanha (StatNano, 2023). O aumento de produtos baseados em NT tem sido classificado como um risco emergente por várias instituições relacionadas a saúde e segurança do trabalho, incluindo a Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (EU-OSHA, 2009), Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho [Fundacentro, 2018], a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2010; Organização mundial da Saúde [OMS], 2017). Das categorias de exposição, a ocupacional apresenta um risco potencial maior, uma vez que os trabalhadores estão envolvidos nas atividades de pesquisa, desenvolvimento e fabricação desses produtos e podem permanecer expostos por longos períodos em seus ambientes de trabalho (Arcuri & Pontes, 2018; El-Kady et al., 2023; EU-OSHA, 2019; Fundacentro, 2018). Assim, a avaliação e o gerenciamento dos potenciais riscos à saúde dos trabalhadores que estão diretamente envolvidos na produção e manipulação de NMs são extremamente relevantes.

Várias propostas foram desenvolvidas para avaliar o risco ocupacional associado ao manuseio de NMs, com base na estratégia de controle de bandas (CB), como é o caso de Andrade (2013), Paik et al. (2008), Ostiguy, et al. (2010) e Simeone et al. (2019) entre outras. Essa abordagem tem sido amplamente explorada por vários pesquisadores nos últimos anos.

O presente trabalho tem como objetivo comparar entre si os resultados oferecidos pelos métodos quando aplicados a

uma determinada situação. Desta comparação é possível indicar o método mais equilibrado no que tange aos resultados obtidos, em relação aos demais. A comparação foi realizada entre os resultados dos métodos e não dos métodos em si, da mesma forma, não foi atribuída qualquer escala de valor em relação a veracidade do resultado.

2. Metodologia

2.1 Identificação e seleção das ferramentas

A identificação e seleção das ferramentas foi realizada através de pesquisa bibliográfica do tipo revisão narrativa ou tradicional (Batista & Kumada, 2021; Cavalcanti & Oliveira, 2000), com análise de diferentes tipos de documentos (artigos, teses, anais e textos on-line) cujo objetivo foi a identificação de propostas de ferramentas de avaliação qualitativa de riscos ocupacionais específicas para a manipulação de nanomateriais. Para este fim foram utilizadas as bases de dados PubMed, Scopus, Google Scholar, Microsoft Academics, sendo utilizadas as palavras-chave: “Control Banding”; “Risk Management”, “Occupational Risk Assessment”; “Nanomaterials”.

A despeito de não serem exigidos critérios de elegibilidade neste tipo de revisão, informamos que este esforço retornou um total de 1.099 documentos pela soma dos resultados das quatro bases de dados consultadas. Os critérios de seleção empregados a este conjunto de resultados foram: (a) duplicidade, 34 documentos foram excluídos por estarem duplicados; (b) trabalhos que não apresentavam a expressão “control banding” em seu resumo foram excluídos, este critério permitiu a exclusão de 750 documentos; (c) seis artigos não estavam disponíveis em inglês (ou português) e foram excluídos por este motivo. Neste ponto restaram 309 artigos que foram submetidos a uma leitura panorâmica com maior atenção para as conclusões onde se buscou identificar a aderência do artigo ao tema pretendido: (d) 247 trabalhos foram excluídos por não abordarem o tema; os 62 artigos restante foram submetidos a uma leitura completa não detalhada que permitiu identificar (e) a falta de aderência ao tema em 34 artigos que foram por este critério excluídos. Desta forma, 28 artigos foram submetidos a uma leitura integral detalhada que permitiu a exclusão de (f) 13 artigos por não proporem diretamente uma ferramenta de control banding, a leitura detalhada também permitiu (g) a identificação de cinco trabalhos que não propunham métodos originais e, portanto, foram excluídos.

Este processo permitiu a identificação de 10 ferramentas que fizeram parte deste estudo: (1) CB ANSES (Ostiguy, et al. 2010); (2) ISO TS 12901-2 (ISO, 2014); (3) NanoSafer (Jensen, 2016); (4) CB Nanotool (Paik et al., 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 (Duuren-Stuurman, et al. 2012) e (10) Working Safely (European Commission [EU Commission], 2013).

O Quadro 1 apresenta as 10 ferramentas selecionadas assim como algumas características de cada uma dela.

Quadro 1 - Relação dos métodos que compõem o estudo.

Item	Método	Dimensão da Matriz					Qtd de níveis de risco
		Linha X Coluna	Qtd linhas	Dimensão nas linhas	Qtd Colunas	Dimensão nas colunas	
1	CB ANSES	5 x 4	5	Perigo	4	Exposição	5
2	ISO TS 12901-2	5 x 4	5	Perigo	4	Exposição	5
3	NanoSafer	5 x 4	5	Exposição	4	Perigo	5
4	CB Nanotool	4 x 4	4	Perigo	4	Exposição	4
5	GoodNanoGuide	9 x 3	3 x 3	Perigo / duração da exposição	3	Exposição	4
6	CB IMEC	3 x 3	3	Perigo	3	Exposição	3
7	CB Simeone	Fórmula	XXX	XXX	XXX	XXX	3
8	SST/LabNano	3 x 3	3	Exposição	3	Perigo	3
9	Stoffenmanager Nano	4 x 5	4	Exposição	5	Perigo	3
10	Working Safely	3 x 3	3	Exposição	3	Perigo	3

Fonte: Autores.

2.2 Considerações sobre a estrutura das ferramentas

Como é possível identificar no Quadro 1, as ferramentas apresentaram 3, 4 ou 5 categorias de perigo e/ou exposição. Para o alinhamento entre as ferramentas foi tomada a premissa de que cada categoria de perigo e exposição, em um determinado método, é igual do ponto de vista percentual as demais categorias. O Quadro 2 ajuda a compreender este ponto.

2.3 Distribuição percentual e faixas de rigor para as categorias de perigo e exposição

Outro aspecto apresentado no Quadro 2 é a distinção entre faixas de rigor (transigente – verde), intermediária (amarelo) e rigorosa (vermelho), esta distinção está apoiada pela lógica de que 0% representa a categoria mais baixa de exposição ou de perigo (menos exposto, menor perigo) enquanto 100% representam a maior categoria de exposição ou de perigo (mais exposto, maior perigo). Por exemplo, uma ferramenta é transigente para a categoria de perigo se o seu resultado para determinada tarefa apontar risco menor do que as demais ferramentas. O mesmo raciocínio é válido para a categoria de exposição. Este mesmo raciocínio vale para os níveis de risco (resultados apontados pelas ferramentas para uma determinada situação).

Quadro 2 – Distribuição percentual e faixas de rigor para as categorias de perigo e exposição.

Nº de categorias	Categoria 1/5	Categoria 2/5	Categoria 3/5	Categoria 4/5	Categoria 5/5
Distribuição %	<= 20%	> 20 e <= 40%	> 40 e <= 60%	> 60 e <= 80%	> 80 e <= 100%
Tamanho %	20%	20%	20%	20%	20%
Nº de categorias	Categoria 1/4	Categoria 2/4	Categoria 3/4	Categoria 4/4	
Distribuição %	<= 25%	> 25 e <= 50%	> 50 e <= 75%	> 75 e <= 100%	
Tamanho %	25%	25%	25%	25%	
Nº de categorias	Categoria 1/3	Categoria 2/3	Categoria 3/3		
Distribuição %	<= 33,3%	> 33,3 e <= 66,6%	> 66,6 e <= 100%		
Tamanho %	33,3%	33,3%	33,3%		

Fonte: Autores.

2.4 Distribuição percentual dos níveis de risco

Ao contrário das categorias de perigo e exposição que foram tomadas como iguais percentualmente, as matrizes de risco de cada ferramenta determinam uma quantidade de quadrículas distribuídas entre os níveis de risco propostos o que permite uma distribuição proporcional entre os níveis.

Tomando como exemplo o modelo do CB ANSES, este apresenta 5 categorias de perigo e 4 categorias de exposição. A matriz 5 x 4 formada define 20 quadrículas que são divididas entre os 5 níveis de risco propostos, como pode ser visto no Quadro 3.

Quadro 3 - Distribuição dos níveis de risco para CB ANSES.

CB ANSES	Quantidade de quadrículas	Valor % sobre o total	Intervalo em % do risco
CL* 1	6	30	≤ 30
CL 2	4	20	> 30 e ≤ 50
CL 3	3	15	> 50 e ≤ 65
CL 4	2	10	> 65 e ≤ 75
CL 5	5	25	> 75 e ≤ 100
Total	20	100	

(*) O método CB ANSES utiliza a nomenclatura “CL n°” para o que, genericamente para todas as ferramentas identificamos como “nível de risco”, optamos por manter a nomenclatura do método usado como exemplo. Fonte: Autores.

O mesmo processo descrito no Quadro 3 foi utilizado para as demais ferramentas. A distribuição percentual dos níveis de risco pode ser vista no Quadro 4

Quadro 4 - Distribuição percentual dos níveis de risco.

Método	Distribuição do percentual dos níveis de risco									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
CB ANSES	≤ 30%			> 30 e ≤ 50%		> 50 e ≤ 65%		> 65 e ≤ 75%	> 75 e ≤ 100%	
ISO TS 12901	≤ 25%			> 25 e ≤ 40%		> 40 e ≤ 60%		> 60 e ≤ 80%		> 80 e ≤ 100%
NanoSafer	≤ 5%	> 5 e ≤ 15%	> 15 e ≤ 30%		> 30 e ≤ 65%				> 65 e ≤ 100%	
CB Nanotool	≤ 31%			> 31 e ≤ 56%			> 56 e ≤ 81%		> 81 e ≤ 100%	
GoodNanoGuide	≤ 30%			> 30 e ≤ 71%				> 71 e ≤ 89%	> 89 e ≤ 100%	
CB IMEC	≤ 11%	> 11 e ≤ 33%		> 33 e ≤ 100%						
CB Simeone	≤ 33,3%			> 33,3 e ≤ 66,6%			> 66,6 e ≤ 100%			
SST/LabNano	≤ 33,3%			> 33,3 e ≤ 66,6%			> 66,6 e ≤ 100%			
Stoffenmanager Nano	≤ 30%			> 30 e ≤ 60%			> 60 e ≤ 100%			
Working Safely	≥ 44%				> 44 e ≤ 66%		> 66 e ≤ 100%			

Legenda de cores

5 níveis de risco	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
4 níveis de risco	Nível 1		Nível 2	Nível 3	Nível 4
3 níveis de risco	Nível 1		Nível 2		Nível 3

Fonte: Autores.

É importante destacar que 9 métodos utilizam a lógica de que menor risco é identificado com o nível 1, A, I, ou seja, a primeira denominação da série escolhida pelo autor, qual sejam, números, letras do alfabeto ou números romanos.

O método STOFFENMANAGER NANO, utiliza uma lógica oposta aos demais métodos, isto é, o nível mais perigoso corresponde ao início da série, neste caso 1 enquanto o nível menos perigoso corresponde ao nível 3. Para facilitar as comparações foi realizada uma inversão da série, este expediente não altera o resultado, apenas altera sua nomenclatura como mostrado no Quadro 5.

Quadro 5 - Nomenclatura e definição dos níveis de risco em cada ferramenta.

Item	Método	Matriz (L x C)	Qtd de níveis	Nível MENOS perigoso	Nível MAIS perigoso
1	CB ANSES	5 x 4	5	CL1	CL5
2	ISO TS 12901	5 x 4	5	CB1	CB5
3	NanoSafer	5 x 4	5	RL1	RL5
4	CB Nanotool	4 x 4	4	RL1	RL4
5	GoodNanoGuide	9 x 3	4	1	4
6	CB IMEC	3 x 3	3	Improvável	Provável
7	CB Simeone	Fórmula	3	Low risk	High risk
8	SST/LabNano	3 x 3	3	Grupo I	Grupo III
9	Stoffenmanager Nano*	4 x 5	3	3 (III)	1 (I)
10	Working Safely	3 x 3	3	A	C

* A versão impressa do método Stoffenmanager Nano utiliza números arábicos para os níveis enquanto a versão disponível na Internet utiliza algarismos romanos. Nos dois casos a nomenclatura é invertida em relação aos demais métodos, como já mencionado. Fonte: Autores.

2.5 Tarefas analisadas

Para a análise dos resultados obtidos de cada uma das ferramentas, cada uma delas foi aplicada a 3 tarefas distintas.

Tarefa 1 – Síntese de nanoplásticos de poliestireno (NPP)

A síntese de NPP é realizada por meio de polimerização em emulsão convencional do monômero de estireno na superfície de um óxido inorgânico. Foram adicionadas nanopartículas de Al_2O_3 e aumentado o tempo de reação de 21 para 24h a partir da adição de ácido palmítico para evitar possíveis diferenças no diâmetro das partículas; os tempos de reação de todas as sínteses foram padronizados.

A síntese foi realizada com o monômero de estireno (68 mmol), nanopartículas de Al_2O_3 (0,69 mmol), o surfactante dodecil sulfato de sódio (0,49 mmol) e persulfato de potássio (1,5 mmol) como iniciador da reação. Para obtenção da funcionalização foi adicionado traçador fluorescente (4,0 μ mol), visando à imobilização pela matriz polimérica, no início da reação de polimerização nos NPP, que foi realizada por 24h a 70 °C. Foi adicionado ácido palmítico (6,8 mmol) durante a síntese após 21h, e a reação de polimerização foi conduzida sob agitação e aquecimento por mais 3h.

Tarefa 2 - Avaliação da toxicidade aguda do NPP

O ensaio de toxicidade aguda foi realizado para a avaliação dos efeitos da exposição da NPP a um organismo-teste (*Daphnia magna*) durante um curto período e em altas concentrações. O objetivo do teste agudo consistiu em observar efeitos em situações extremas do contato com o composto, estando geralmente associado com a mortalidade ou imobilização dos organismos-teste. A solução mãe contendo a NPP é adicionada em 10 beakers contendo *Daphnia magna* em diluições diferentes. A concentração da solução mãe é de 1,35g para 0,2 litros e preparada 1 vez na semana.

Tarefa 3 - Teste de toxicidade crônica in vitro de nanotubos de carbono

O processo geral pode ser descrito como: fracionar os nanotubos de carbono pesando pequenas porções para que estas sejam colocadas em uma solução aquosa. Culturas celulares são expostas e esta solução, para posterior análise de possíveis alterações (teste de toxicidade crônica).

Detalhes do nanomaterial: os nanotubos de carbono utilizados nos ensaios não são fabricados no laboratório. Eles são recebidos sob a forma de um pó fino em pequenos potes de vidro tampados. Desta forma, são manipulados primeiramente sob a forma de pó. Nanotubos de carbono, com formato de agulha., possuem entre 10 e 100nm de diâmetro e um comprimento que varia entre 200 e 400nm. O diâmetro médio é de 40nm. Estes nano objetos podem formar aglomerados ou agregados. Não é conhecida a área superficial destes nanotubos de carbono.

Em relação a toxicidade crônica pode ser enquadrado como provável STOT RE 2. STOT é a sigla em inglês para toxicidade específica para um órgão alvo (Specific Target Organ Toxicity), neste caso o órgão alvo é o pulmão. Assim, STOT RE 2 inclui substâncias presumidas como tóxicas após exposição repetida com base em evidências de estudos experimentais em animais.

Os nanotubos de carbono apresentam evidências de citotoxicidade e genotoxicidade que, presumidamente, sejam cancerígenos (“efeito asbesto”), causando câncer de pulmão. O material não é solúvel em água, não existindo evidência de alta reatividade.

Detalhes do processo: uma vez recebidos, os nano tubos são fracionados em pequenas porções. O fracionamento consiste em separar três porções de 12mg, uma para cada exposição do experimento. São três exposições simultâneas, totalizando para cada conjunto 36mg. A separação de três amostras de nanotubos de carbono é feita com a utilização de uma balança de precisão, em ambiente aberto (em um pequeno espaço, limitado por paredes e armário).

A energia utilizada no processo de separação das amostras é muito baixa. O material sofre uma queda de menos de um centímetro ao ar livre, quando da deposição dele na balança de precisão. A operação de fracionamento é a que traz maior possibilidade de dispersão do nanopó no ar ambiente, no entanto, como as quantidades manipuladas são pequenas (3 x 12 mg) o efeito de dispersão também é menor.

Após a separação das amostras de 12mg, os nanotubos de carbono são colocados em uma solução de água com solubilizante para em seguida ser sonificado. Embora os nanotubos de carbono não sejam solúveis em água, o acréscimo do solubilizante e a sonicação produzem um líquido preto e homogêneo. A quantidade é de poucos mililitros, tendo em conta que a concentração da solução é de 2mg/ml.

O uso do sonicador aumenta a energia do processo, já que possibilita a agitação da solução, entretanto, os nanotubos estão dispersos em uma matriz líquida, o que diminui a possibilidade de sua difusão no ambiente. Esta solução é pipetada na placa de poços para cultura celular que, após o tempo de exposição previsto para o experimento, será analisada. A operação de pipetagem da solução é feita em uma cabine de fluxo propiciando diminuição da probabilidade de contaminação das amostras.

O ciclo de operações descrito acima é feito normalmente duas vezes por semana, sendo que cada ciclo demora aproximadamente 2h para ser completado. Nas operações de pesagem (fracionamento) é utilizada máscara tipo PFF 2 e luvas de nitrila. Após o período de exposição as amostras são analisadas em relação a toxicidade crônica.

Detalhes do local: o laboratório é formado por duas salas contíguas, onde os pesquisadores realizam seus experimentos. O local é pequeno e, devido ao volume de equipamentos presente, o espaço para movimentação também o é. Em uma das salas há uma “mesa de descanso”, onde os pesquisadores fazem refeições rápidas ou lanches e tomam café. Esta é a “sala de entrada”. A próxima sala é ainda menor com vários equipamentos inclusive os computadores usados pelos pesquisadores. Esta é a “sala 2”.

As paredes internas são do tipo “divisórias de escritório”. Não há sistema de ventilação forçada. Há aparelhos de ar condicionado do tipo split para manutenção do conforto térmico do ambiente. A balança de precisão, usada para o fracionamento das amostras se encontra em um nicho formado pela parede que separa as duas salas e um armário. Este nicho está localizado na “sala de entrada” distante de dois a três metros da mesa de descanso. A limpeza do laboratório é feita

semanalmente e são utilizados lenços umedecidos. Pelo menos uma vez ao mês os equipamentos são inspecionados para garantir seu correto funcionamento.

2.6 Grupo de maior concordância

Os resultados obtidos pela aplicação das ferramentas, para cada uma das tarefas já descritas, permitiram construir o conceito de grupo de maior concordância que corresponde àquele que reúne o maior número de resultados concordantes entre os métodos.

2.7 Grupo de maior rigor

Igualmente, os resultados obtidos (níveis de risco) também foram comparados entre si e, segundo o critério especificado no item 2.3 e foram categorizados por faixas de rigor.

É importante salientar que, tanto o grupo de maior concordância como o grupo de maior rigor emergem da comparação dos métodos e não propriamente das características do método em si.

3. Resultados e Discussão

3.1 Resultados para as categorias de perigo e exposição, assim como níveis de risco, para cada um dos métodos aplicados para uma tarefa

Ao realizar a aplicação dos 10 métodos sobre cada uma das 3 tarefas já mencionadas, foi obtido o resultado para categoria de perigo (Quadro 6) e exposição (Quadro 7) assim como o nível de risco (Quadro 8).

Quadro 6 – Resultados para as categorias de perigo de cada ferramenta para cada uma das tarefas.

Método	Tarefa	Resultados das categorias de perigo%				
CB ANSES	1	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
	2	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
	3	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
ISO TS 12901	1	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
	2	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
	3	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
Nanosfer	1	xxx				
	2	xxx				
	3	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	
CB Nanotool	1	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	
	2	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	
	3	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	
GoodNanoGuide	1	0 a 33		34 a 66		67 a 100
	2	0 a 33		34 a 66		67 a 100
	3	0 a 33		34 a 66		67 a 100
CB IMEC	1	0 a 33		34 a 66		67 a 100
	2	0 a 33		34 a 66		67 a 100
	3	0 a 33		34 a 66		67 a 100
CB Simeone	1	xxx				
	2	xxx				
	3	Xxx				

SST/labNano	1	0 a 33	34 a 66	67 a 100		
	2	0 a 33	34 a 66	67 a 100		
	3	0 a 33	34 a 66	67 a 100		
Stoffemanager Nano**	1	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
	2	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
	3	0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	81 a 100
Working Safely	1	0 a 33	34 a 66	67 a 100		
	2	0 a 33	34 a 66	67 a 100		
	3	0 a 33	34 a 66	67 a 100		

Legenda: quadrículas marcadas em cinza indicam a categoria de perigo apontado pelo método em questão. Quadrículas marcadas em marrom indicam a não possibilidade de aplicar o método. A ferramenta NanoSafer é destinada apenas às operações envolvendo nonopós.

* O método CB Simeone não define categorias de perigo, em seu lugar aplica uma fórmula matemática.

** As categorias de perigo foram invertidas para manter a coerência entre menor e maior perigo. Fonte: Autores.

Quadro 7 – resultados para as categorias de exposição de cada ferramenta para cada uma das tarefas.

Método	Tarefa	Resultados das categorias de exposição %			
CB ANSES	1	0 a 25	26 a 50	21 a 75	76 a 100
	2	0 a 25	26 a 50	21 a 75	76 a 100
	3	0 a 25	26 a 50	21 a 75	76 a 100
ISO TS 12901	1	0 a 25	26 a 50	21 a 75	76 a 100
	2	0 a 25	26 a 50	21 a 75	76 a 100
	3	0 a 25	26 a 50	21 a 75	76 a 100
Nanosafes	1	xxx			
	2	xxx			
	3	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
CB Nanotool	1	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
	2	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
	3	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
GoodNanoGuide	1	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	2	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	3	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
CB IMEC	1	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	2	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	3	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
CB Simeone	1	xxx			
	2	xxx			
	3	xxx			
SST/labNano	1	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	2	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	3	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
Stoffemanager Nano**	1	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
	2	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
	3	0 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100
Working Safely	1	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	2	0 a 33	34 a 66	67 a 100	
	3	0 a 33	34 a 66	67 a 100	

Legenda para o quadro 7: quadrículas marcadas em cinza indicam a categoria de perigo apontado pelo método em questão. Quadrículas marcadas em marrom indicam a não possibilidade de aplicar o método. A ferramenta NanoSafer é destinada apenas às operações envolvendo nonopós.

* O método CB Simeone não define categorias de perigo, em seu lugar aplica uma fórmula matemática.

** As categorias de perigo foram invertidas para manter a coerência entre menor e maior perigo. Fonte: Autores.

Quadro 8 – Distribuição e resultados para os níveis de risco de cada ferramenta para cada uma das tarefas

Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 30%	31 a 50%	51 a 65%	66 a 75 %	76 a 100%
CB ANSES	1	X				
	2	X				
	3					X
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 25 %	26 a 40%	41 a 60%	61 a 80%	81 a 100%
ISO TS 12901	1			X		
	2			X		
	3					X
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 5%	6 a 15%	16 a 30%	31 a 65%	66 a 100%
NanoSafer	1	Não se aplica				
	2	Não se aplica				
	3					X
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 31%	32 a 56%	57 a 81%	82 a 100%	
CB Nanotool	1	X				
	2	X				
	3				X	
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 30%	31 a 71%	72 a 89%	90 a 100%	
GoodNanoGuide	1	X				
	2	X				
	3				X	
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 11%	12 a 33%	34 a 100%		
CB IMEC	1		X			
	2		X			
	3				X	
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 33%	34 a 66%	67 a 100%		
CB Simeone	1	X				
	2	X				
	3					X
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 33%	34 a 66%	67 a 100%		
SST/LabNano	1	X				
	2	X				
	3					X
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 30%	31 a 60%	61 a 100%		
Stoffenmanager Nano*	1	X				
	2	X				
	3					X
Método	Tarefas	Intervalo percentual dos níveis de risco e resultados obtidos				
		0 a 44%	45 a 66%	46 a 100%		
Working Safely	1			X		
	2			X		
	3					X

Legenda de cores

5 níveis de risco	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5
4 níveis de risco	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	
3 níveis de risco	Nível 1		Nível 2		Nível 3

Legenda: quadrículas marcadas com um “X” indicam o resultado (nível de risco) apontado pela ferramenta para a tarefa. Quadrículas marcadas em **marrom** indicam a não possibilidade de aplicar o método. A ferramenta NanoSafer é destinada apenas às operações envolvendo nonopós.

* Os níveis de risco foram invertidos para manter a coerência entre menor e maior risco. Fonte: Autores.

3.2 Resultados por tarefa para grupo de maior concordância e faixas de rigor

Com base nos resultados mostrados nos quadros 6, 7 e 8, os métodos foram alocados nas faixas de rigor e grupo de maior concordância.

A classificação é feita para cada tarefa, de maneira que, para uma tarefa o método pode ser transigente sendo que para outra tarefa com exposição e/ou perigo diferentes o mesmo método pode assumir uma posição do tipo rigorosa e vice-versa.

Tarefa 1 – Síntese de nanoplásticos de poliestireno (NPP)

Tendo em conta que o método CB Nanosafer é voltado para a manipulação de nanomateriais em forma de pó, não sendo este o caso para a tarefa 1, foram obtidos 9 resultados válidos para esta tarefa.

Os resultados obtidos para a categoria de perigo da tarefa 1 indicam 5 métodos apontando uma categoria de perigo intermediária, enquanto as 3 restantes apontam uma categoria de baixo perigo. Em relação as categorias de exposição, temos 4 métodos apontando uma exposição intermediária, enquanto os 4 métodos restantes apontam para uma categoria de baixa exposição. Os resultados combinados entre categorias de perigo e exposição, que determina o nível de risco, mostram que 7 métodos apontam um risco $\leq 33\%$, enquanto apenas 2 indicam um nível entre 34 e 66%.

Neste cenário, com base no quadro comparativo dos níveis de risco para a tarefa 1, é possível indicar que pertencem ao tipo transigente os métodos: CB-ANSES; CB-Nanotool; CB-GoodNanoGuide; CB-Simeone; CB-SST/LabNano; e CB-Stoffenmanager Nano. Este é o grupo de maior concordância para a tarefa 1.

O tipo intermediário é composto por: CB- ISO/TS 12901-2, CB- Working Safely e CB- IMEC.

Nenhum método classificou a tarefa como sendo de maior risco.

Uma análise do conjunto dos resultados indica uma convergência entre os métodos na classificação do risco como de baixo (majoritariamente = 6 métodos) e intermediário (minoritariamente = 3 métodos).

Tarefa 2 - Avaliação da toxicidade aguda do NPP

A tarefa 2, embora diversa da atividade descrita como tarefa 1, apresenta os mesmos resultados desta última, em relação as categorias de perigo e exposição, bem como para os níveis de risco. Embora sejam tarefas distintas, a forma como são realizadas e o nanomaterial utilizado seja o mesmo, acaba por levar a resultados coincidentes. São válidas, portanto, as considerações já feitas para a tarefa 1.

Tarefa 3 - Teste de toxicidade crônica in vitro de nanotubos de carbono

Os resultados obtidos para a categoria de perigo da tarefa indicados por 7 métodos apontam uma categoria de maior perigo, enquanto as 2 restantes apontam uma categoria de perigo intermediário.

Em relação as categorias de exposição há uma maior dispersão dos resultados com três métodos indicando baixa exposição, 4 métodos apontando uma exposição intermediária, enquanto os 2 métodos restantes apontam para uma categoria de alta exposição. Especificamente em relação a categoria de exposição, tendo em conta que o método CB Simeone não indica uma categoria, temos 8 resultados para este quesito.

Os resultados combinados entre categorias de perigo e exposição, que determinam o nível de risco, mostram que 8 métodos apontam um risco alto, enquanto duas posicionam o nível de risco em uma situação intermediária, entretanto, a GoodNanoGuide apresentou um risco maior que 66%.

Neste cenário, com base no quadro comparativo dos níveis de risco para a tarefa 3, é possível indicar que:

O tipo intermediário é composto por: CB- Nanotool e GoodNanoGuide.

Por fim, o tipo rigoroso para esta tarefa é representado pelos métodos CB- ANSES; CB- ISO/TS 12901-2; CB- IMEC; CB- Simeone; CB- SST/LabNano; CB- Stoffenmanager Nano e CB- Working Safely. Este é o grupo de maior concordância para a tarefa 3.

3.3 Resultados para as faixas de rigor para cada método e tarefa

Para as tarefas 1 e 2 as avaliações indicaram, em sua maioria, uma categoria baixa para o perigo, o que se deve a baixa toxicidade no NPP. A exposição foi considerada baixa pela maioria dos métodos devido, principalmente, ao estado físico dos NMs em questão, o fato de estar em suspensão e pela baixa frequência na realização das tarefas. Com as categorias de perigo e exposição baixas, os níveis de risco também foram baixos na maioria dos métodos de CB.

Para a tarefa 3 o uso dos métodos em estudo indicou, em sua maioria (9 métodos), um risco alto. Embora as quantidades manipuladas sejam baixas, assim como a frequência em que ocorre o desenvolvimento da tarefa, pesa o fato de o nanomaterial ser nanotubo de carbono, suspeito de induzir o câncer de forma semelhante ao asbesto e ser manuseado sob a forma de pó.

O Quadro 9 apresenta a classificação dos métodos segundo a faixa de rigor para cada uma das tarefas analisadas.

Quadro 9 - Classificação dos métodos em função das faixas de rigor.

Método	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3
CB- ANSES	Transigente	Transigente	Rigoroso
CB- ISO/TS 12901-2	Transigente	Transigente	Rigoroso
CB- NanoSafer*	XXX	XXX	Rigoroso
CB- Nanotool	Transigente	Transigente	Intermediário
CB- GoodNanoGuide	Transigente	Transigente	Rigoroso
CB- IMEC	Intermediário	Intermediário	Rigoroso
CB- Simeone	Transigente	Transigente	Rigoroso
CB- SST/LabNano	Transigente	Transigente	Rigoroso
CB- Stoffenmanager Nano	Transigente	Transigente	Rigoroso
CB- Working Safely	Intermediário	Intermediário	Rigoroso

* O método CD-Nanosafes só foi aplicado a tarefa 3, neste caso, enquadrando a situação como **rigorosa** em relação aos níveis de risco. Fonte: Autores.

3.4 Resultado do agrupamento por grupo de maior concordância

Para as tarefas 1 e 2, o grupo de maior concordância é formado por: CB- ANSES; CB- Nanotool; CB- GoodNanoGuide; CB- Simeone; CB- SST/LabNano; CB- IMEC e CB- Stoffenmanager Nano.

Para a tarefa 3 o grupo de maior concordância é composto por: CB- ANSES; CB- ISO/TS 12901-2; CB- Nanosafes; CB- IMEC; CB- Simeone; CB- SST/LabNano; CB- Stoffenmanager Nano; CB- Working Safely e CB- GoodNanoGuide.

É possível identificar, por este critério, que seis métodos pertencem, simultaneamente, ao grupo de maior concordância para as tarefas 1 e 2, assim como o grupo de maior concordância para a tarefa 3. São eles: CB- ANSES; CB- ISO/TS 12901-2; CB- GoodNanoGuide; CB- IMEC; CB- Simeone; CB- SST/LabNano; e CB- Stoffenmanager Nano.

3.5 Resultados do agrupamento pela faixa de rigor

Com base no quadro 9, o grupo de métodos de maior rigor para as tarefas 1 e 2 são: CB- IMEC e CB- Working Safely.

Para a tarefa 3 o grupo de maior rigor corresponde também ao grupo de maior concordância, ou seja, CB- ANSES; CB- ISO/TS 12901-2; CB- Nanosafes; CB- IMEC; CB- Simeone; CB- SST/LabNano; CB- Stoffenmanager Nano; CB- Working Safely e CB- GoodNanoGuide.

No âmbito do estudo realizado, os métodos mais rigorosos, tanto para as tarefas 1 e 2 quanto para a tarefa 3 são: CB-IMEC e CB- Working Safely.

3.6 Resultado consolidação para os agrupamentos

Ao examinarmos os dois conjuntos formados pelo critério de grupo de maior concordância (CB- ANSES; CB-ISO/TS 12901-2; CB- GoodNanoGuide; CB- IMEC; CB- Simeone; CB- SST/LabNano e CB- Stoffenmanager Nano) e pelo critério de faixa de rigor (CB- IMEC e CB- Working Safely), podemos constatar que o único método que faz parte dos dois agrupamentos, simultaneamente, é o CB IMEC.

3.7 Discussão

É importante apontar que, em relação a aplicabilidade destes métodos, a literatura técnica sobre o tema não indica um método melhor ou mais adequado em relação a outro qualquer. Como já referido, as lacunas de conhecimento acabam por impactar os resultados tornando-os, ao mesmo tempo, importantes e passíveis de erro. A escolha do método é, portanto, decisão própria de cada laboratório sem que isto implique em juízo de valor. Todos os métodos são aplicáveis e podem ajudar ao mesmo tempo que podem não garantir integralmente a proteção dos trabalhadores.

Neste cenário, cabe observar o princípio da precaução aplicado a área de SST. Este Princípio indica que na dúvida entre duas situações sempre deverá ser considerada a mais perigosa ou a de maior risco.

Na prática, o laboratório, em tese, pode optar por qualquer um dos métodos ou ainda outros e, nesta condição, haverá um resultado único oferecido pelo método escolhido, neste caso o Princípio da Precaução fica restrito ao próprio método, posto só haver um nível de risco apontado.

As informações sobre a toxicidade dos nanomateriais em geral são poucas e, na maioria dos casos, não conclusivas. Mais uma vez a adoção do Princípio da Precaução é uma escolha adequada para lidar com as questões de SST num contexto de muitas lacunas de conhecimento.

Cabe destacar que os resultados dos métodos não podem ser tomados de maneira absoluta, posto não haver garantia de que a adoção das medidas indicadas por cada um deles seja suficiente para garantir a segurança e saúde dos envolvidos, entretanto, o resultado da aplicação de um método é um bom indicativo de quão significativo é o risco à luz do conhecimento atual.

4. Conclusão

Em que pese o fato de que apenas 3 tarefas foram analisadas, os resultados oferecidos por cada um dos métodos indicam uma convergência em relação a uma tarefa específica. Ao analisarmos o conjunto dos resultados para as três tarefas estudadas, a convergência, considerando o agrupamento dos métodos por grupo de maior concordância e grupo de faixa de rigor, é obtida apenas com CB IMEC.

Desta maneira, considerando os critérios adotados ao longo deste trabalho, o método que apresentou um melhor resultado em relação aos demais foi o CB IMEC. Entretanto, a pequena amostra referida acima implica que os resultados obtidos pela aplicação dos métodos e descritos neste artigo precisam ser tomados com cautela, pois é possível a existência de tarefas em que estes métodos se mostrem inadequados para que se possa estimar os riscos laborais.

Independentemente do método a ser escolhido para aplicação, não se pode esquecer da regra de ouro: é importante fazer mais e nunca menos em relação à segurança. Esta regra está contida no âmbito do Princípio da Precaução, já mencionado como mais adequado para as situações envolvendo a manipulação de nanomateriais.

Ademais, sugere-se a aplicação e comparação dos métodos em mais laboratórios de pesquisas de modo a ampliar a

confiabilidade dos resultados obtidos.

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. CB SST/LabNano. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96396>
- Arcuri, A. S. A. & Pontes, J. M. (2018). Nanotecnologia e seus impactos na saúde, meio ambiente e no mundo do trabalho. in: Hess, S.C. (Org.), *Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil*. (pp. 315–336). Outras Expressões.
- 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>
- Buzea, C. & Pacheco, I. (2019). Toxicity of nanoparticles. In: Pacheco-Torgal, Fernando et al (Ed(s)), *Nanotechnology in Eco-efficient Construction*. (pp. 705–754). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102641-0.00028-1>
- Canuto, L. T., & Oliveira, A. A. S. D. (2020). Métodos de revisão bibliográfica nos estudos científicos. *Psicologia em Revista*, 26(1), 83–102. <https://doi.org/10.5752/P.1678-9563.2020v26n1p82-100>
- Duuren-Stuurman, B. Van, Vink, S. R., Verbist, K. J. M., Heussen, H. G. A, Brouwer, D. H., Kroese, D. E. D. & 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>
- El-Kady, M. M., Ansari, I., Arora, C., Rai, N., Soni, S., Verma, D. K., Singh, P., & Mahmoud, A. E. D. (2023). Nanomaterials: A comprehensive review of applications, toxicity, impact, and fate to environment. *Journal of Molecular Liquids*, 370, 121046. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121046>
- EU Commission. (2013). Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work. Guidance for employers and health and safety practitioners. <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiMp9qByfaCAxWFpJUCHe9QC8IQFnoECBcQAQ&url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fsocial%2FblobServlet%3FdocId%3D13087%26langId%3Den&usq=AOvVaw3-mxnBeF0K7X37bqWiOutk&opi=89978449>
- European Agency for Safety and Health at Work. (2009). *New and emerging risks in occupational safety and health*. https://osha.europa.eu/sites/default/files/en_te8108475enc.pdf
- European Agency for Safety and Health at Work. (2019). *Manufactured nanomaterials in the workplace*. <https://osha.europa.eu/en/publications/info-sheet-manufactured-nanomaterials-workplace>
- 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.(2023). *CB GoodNanoGuide*. <https://nanohub.org/groups/gng>.
- International Organization for Standardization.2014. *Nanotechnologies – Occupational Risk Management Applied to Engineered Nanomaterials – Part 2: Use of the Control Banding Approach (ISO/TS 12901-2)*. <https://www.iso.org/standard/53375.html>
- Jensen, K. A. (2016). *NanoSafer v. 1.1beta*. <http://www.nanosafer.org>
- Organização Internacional do Trabalho. (2010). *Riesgos emergentes y nuevos modelos de prevención en un mundo de trabajo en transformación*. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/publication/wcms_124341.pdf
- 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)
- Organização Mundial da Saúde. (2017). *WHO Guidelines on Protecting Workers from Potential Risks of Manufactured Nanomaterials*. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525054/pdf/Bookshelf_NBK525054.pdf
- Ostiguy, C., M. Riediker, J. Triolet, P. Troisfontaines, D. A. Vernez & A. M. (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>
- 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>
- 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. (2023). *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),1-7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/838/1/012017>