

Luís Renato Balbão Andrade  
(organizador)

PEQUENO  
NÃO  
QUER DIZER  
SEGURO

& NANOTECNOLOGIAS  
MACROINQUIETAÇÕES



**FUNDACENTRO**  
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO  
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

PEQUENO NÃO QUER DIZER SEGURO: NANOTECNOLOGIAS E MACROINQUIETAÇÕES



PEQUENO  
**NÃO**  
QUER DIZER  
**SEGURO**

**& NANOTECNOLOGIAS  
MACROINQUIETAÇÕES**



*Luís Renato Balbão Andrade*  
(organizador)

PEQUENO  
**NÃO**  
QUER DIZER  
**SEGURO**

&  
**NANOTECNOLOGIAS**  
**MACROINQUIETAÇÕES**

São Paulo



**FUNDACENTRO**  
FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO  
DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO

2021

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida, desde que citada a fonte.  
Disponível também em: [www.fundacentro.gov.br](http://www.fundacentro.gov.br)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Serviço de Documentação e Biblioteca – SDB / Fundacentro  
São Paulo – SP  
Sergio Roberto Cosmano CRB-8/7458

Pequeno não quer dizer seguro : nanotecnologias e macroinquietações  
/ Luís Renato Balbão Andrade (org.). – São Paulo : Fundacentro,  
2021.

424 p. : il. Color.

ISBN 978-85-92984-19-9

Resumo: este livro traz uma abordagem multifacetada sobre os impactos das nanotecnologias sobre a segurança e saúde dos trabalhadores e meio ambiente, a publicação passeia por diversas áreas, todas abordadas desde as implicações com as nanotecnologias, ações da Fundacentro e outras governamentais.

1. Nanotecnologia – Segurança e Saúde no Trabalho. 2. Nanotecnologia – Locais de Trabalho. 3. Nanotecnologia – Exposição. 4. Nanotecnologia – Perigos para a Saúde. I. Andrade, Luís Renato Balbão (org.). II. Título.

CIS  
Zumm A Hb Sim Yh

CDU  
621.039 : 613.6 : 331.4

CIS – Classificação do “Centre International d’Informations de Sécurité et d’Hygiene du Travail”

CDU – Classificação Decimal Universal

## **Presidência da República**

Jair Messias Bolsonaro

## **Ministério do Trabalho e Previdência**

Onyx Dornelles Lorenzoni

## **Fundacentro**

### **Presidência**

Felipe Mémolo Portela

### **Diretoria de Conhecimento e Tecnologia**

Marina Brito Battilani

### **Diretoria de Pesquisa Aplicada**

Erika Alvim de Sá e Benevides

### **Diretoria de Administração e Finanças**

Francisco Rogerio Lima da Silva

## **Produção editorial**

Editora-chefe: Glaucia Fernandes

Preparação de originais: Karina Penariol Sanches

Revisão de textos: BR75 | Aline Canejo

Projeto gráfico, capa e diagramação: Flávio Galvão

Fotos: freeimages.com

Referências normalizadas de acordo com as diretrizes da ABNT NBR 6023,  
2ª edição, versão corrigida 2, de 24 de setembro de 2020.

## *Resumo*

Este livro apresenta uma abordagem multifacetada sobre os impactos das nanotecnologias sobre a segurança e saúde dos trabalhadores e meio ambiente. Com mais de 40 autores com diversas formações, entre elas: físicos, químicos, engenheiros, sociólogos, bacharéis em direito, biólogos, antropólogos, sociólogos, jornalistas, economistas, farmacêuticos e médicos, o volume com certeza fornece ampla e rica coletânea de saberes sobre o tema.

Os 35 artigos que compõem esta publicação passeiam por diversas áreas incluindo a ação sindical, a sociedade e o mundo do trabalho, o direito, a ética, a vigilância da saúde dos trabalhadores, a comunicação científica, o meio ambiente e a engenharia de segurança, todas estas abordadas desde as implicações delas com as nanotecnologias. Também as ações da Fundacentro e outras ações governamentais neste campo merecem destaque, além de algumas visões de autores estrangeiros traduzidos para o português.

Esperamos que esta iniciativa possa contribuir, mesmo que de maneira modesta, para a discussão e a reflexão sobre as implicações destas novas tecnologias no mundo do trabalho de forma direta e para a sociedade com um todo de um modo mais amplo. Se as nanotecnologias caracterizam nossa época, há urgência em se compreender que pequeno não quer dizer seguro, mas poderia e deveria ser, e é esta compreensão que move nossas macroinquietações, pois entendemos que o progresso tecnológico deve servir a todos, e não apenas aos interesses de poucos.



# Apresentação

Zuher Handar<sup>1</sup>

A ciência sem  
espiritualidade nos leva à  
destruição e à infelicidade.  
(Mahatma Gandhi)

É com grande prazer que recebo o convite dos colegas autores para apresentar esta coletânea de textos cujo tema é *Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologias e macroinquietações*, fruto do esforço de um grupo de pesquisadores de grande competência.

Este projeto tem significado bastante importante neste momento e envolve um grande número de pessoas das mais diversas áreas que, com seus saberes e conhecimentos compartilhados em 35 artigos, desperta a preocupação com o cuidado da saúde dos trabalhadores expostos a nanomateriais.

Falar em nanomaterial ou nanotecnologia nos dias atuais, em que o mundo vive em constante transformação com inúmeras inovações tecnológicas, tem uma importância muito grande, considerando que o novo ainda está por ser descoberto e seus efeitos ainda por serem estudados. Ao contrário do que ocorreu com o advento de outras tecnologias, o desenvolvimento das nanotecnologias está revelando incertezas e preocupações em relação aos aspectos de saúde e segurança dos trabalhadores.

As nanotecnologias são um campo com rápida expansão e um tema de grande interesse pelo enorme potencial inovador e pela importância de sua aplicação industrial e comercial. Os nanomateriais são produtos novos, com características ainda pouco conhecidas, capazes de produzir efeitos biológicos que podem nem sempre ser evitados e, talvez, serem de difícil identificação e mensuração por meio de méto-

---

<sup>1</sup> Especialista em medicina do trabalho, professor da Faculdade Evangélica do Paraná (Fepar) e da Pontifícia Universidade Católica-PR, consultor em saúde do trabalhador.



dos tradicionais da pesquisa toxicológica. Nesta década de 2010, estamos observando a passagem do estágio da pesquisa para o momento de grande produção e aplicações das nanotecnologias. Portanto, a pesquisa e a adoção de estratégias eficazes de prevenção do risco e de cuidado com a saúde dos trabalhadores tem papel central para assegurar a governabilidade e a sustentabilidade de programas de desenvolvimento industrial das nanotecnologias (MANZO; COCCINI, 2015).

Diversas publicações têm destacado a importância do assunto na esfera ética e científica, como o parecer do Conselho Federal de Medicina (2016)<sup>2</sup>:

*Por tratar-se de importante base para o conhecimento científico e industrial no futuro, o conjunto nanociência/nanotecnologia necessita de preceitos éticos e base científica a serem seguidos [...] São poucos ainda os estudos de suas consequências na medicina ocupacional. Na maioria dos países, a nanotecnologia foi incorporada de forma pronta ao mercado, sem ter passado pela formação intelectual na academia. Existe descompasso entre sua aplicação e seu conhecimento. [...] deve-se atentar para: a necessidade de formação acadêmica sólida; garantias de proteção efetiva aos trabalhadores; a necessidade de mais informações científicas sobre os agravos das tecnologias já em prática na classe laboral [...].*

Segundo a Dra. Arline Arcuri, precisamos estar alertas a esta realidade de maravilhas da tecnologia, mas, principalmente aos impactos que isto pode trazer para a saúde dos trabalhadores, considerando que ainda são bastante desconhecidos. Afirma também que devemos nos preocupar com a disponibilização de investimentos feita por empresas e mesmo pelo governo direcionados a pesquisas de aplicação desta nova prática sem, no entanto, ter qualquer investimento para os efeitos que possam causar na saúde das pessoas.

---

<sup>2</sup> CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA. Parecer CFM nº 18/16, de 19 de maio de 2016. Trata da necessidade da nanoética e de cuidados com possíveis riscos da nanotecnologia/nanomedicina à saúde do trabalhador. Disponível em: <https://sistemas.cfm.org.br/normas/visualizar/pareceres/BR/2016/18>. Acesso em: 10 maio 2019.

Portanto, esta publicação com linguagem objetiva e, sempre que possível, não acadêmica – pois busca alcançar o público não especialista, mas interessado no assunto –, apresenta uma visão ampla do reflexo das nanotecnologias no cuidado da saúde das pessoas, ao mesmo tempo em que contribui para disseminar informações sobre um tema tão atual, sob vários pontos de vista, abordando de maneira multidisciplinar a questão dos possíveis impactos das nanotecnologias na segurança e na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente.

Assim, profissionais da área de saúde e trabalho, bem como trabalhadores e sociedade em geral, poderão obter mais conhecimentos sobre nanotecnologia nesta coletânea de textos, pois conforme esclarecem os autores, esta publicação pode ser lida no todo ou em partes por pessoas que não sejam estudiosas do assunto, mas buscam informações sobre o conteúdo.

A publicação nos proporciona não apenas a variedade e a complexidade de facetas que envolvem a questão do uso das nanotecnologias, mas também suas implicações na saúde das pessoas. Os interessados poderão encontrar em seus capítulos como este assunto da atualidade está sendo tratado nas ações governamentais, nas entidades da rede de pesquisa e na Fundacentro, assim como sua presença na agenda sindical.

A preocupação com o reflexo e as implicações destas novas tecnologias na sociedade e no meio ambiente merece destaque, associada a um importante capítulo sobre a regulação de seu uso e sua aplicação e os riscos em uma perspectiva do direito e da ética.

Como toda boa pesquisa, essas informações nos levam a pensar e refletir sobre outras inúmeras realidades que conhecemos e descobriremos diante de um universo cada vez mais inovador que nos faz questionar como enfrentaremos problemas que se expressam em um grande número de incertezas, pois certamente o “pequeno não quer dizer seguro”.

É necessário compreender que, “quando uma atividade representa ameaça e danos ao meio ambiente ou à saúde humana, medidas de precaução devem ser tomadas, mesmo se algumas relações de causa e efeito não forem plenamente estabelecidas cientificamente” (WINGS-

PREAD; WISCONSIN, 1998). Em razão disso, “é preciso levar em consideração não apenas o risco iminente, mas também os riscos futuros derivados de iniciativas humanas, para quais a ciência não nos assegure a não ocorrência de danos” (DERANI, 1997)

Diante disso, cumprimento os autores pela importância dada a este tão importante e atual princípio da precaução aplicado às nanotecnologias, pois:

*o princípio de precaução é entendido como “uma concepção relativamente nova e norteadora da ação” diante de “riscos de danos graves e irreversíveis” [...] De acordo com esse princípio, não devemos “renunciar a agir” sob o “pretexto da incerteza científica.”<sup>3</sup>*

Frente a uma realidade na qual os indivíduos prosseguem trabalhando e vivendo sob novas concepções de modernidade, globalização, reestruturação e inovações tecnológicas em que a precariedade de ambientes e processos de trabalho associada à desinformação e às incertezas do futuro os assombra, cabe a nós prosseguirmos também, buscando respostas a estas e a outras inquietações, dúvidas e incertezas apresentadas pela aplicação da nanociência, podendo configurar ou alterar o nosso viver. Então, convido a todos a apreciar a leitura deste belo e provocante trabalho e encontrar, além do conhecimento e da informação, o aperfeiçoamento do saber baseado no fruto destes textos de um novo e criativo grupo de profissionais e pesquisadores que continuam preocupados com o cuidado da saúde dos trabalhadores.

---

<sup>3</sup> TAVARES, E. T.; SCHRAMM, F. R. Princípio da precaução e nanotecnologias. Revista Bioética, Brasília, v. 23, n. 2, maio/ago. 2015. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1983-80422015000200244#B3](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-80422015000200244#B3). Acesso em: 10 maio 2019.

## ***Prefácio***<sup>4</sup>

*Vladimir Murashov*<sup>5</sup>

Imagine uma substância tão pequena que um cabelo humano seria enorme se comparado a ela. Medindo menos de um milionésimo de milímetro, ou cerca de 100.000 vezes menos que o diâmetro de um fio de cabelo, esta substância é uma nanopartícula. No entanto, o que falta em tamanho a nanopartículas elas possuem em suas únicas propriedades físicas e químicas. Isso as torna ideais para diversas aplicações, da óptica e da eletrônica até a medicina – inclusive como uma terapia potencial para o câncer e o vírus zika. Atualmente celebridades do mundo científico, as nanopartículas exibem também comportamento característico de celebridades, provocando mais perguntas do que fornecendo respostas. Em um mundo ideal, gostaríamos de responder a todas estas perguntas antes que uma nova tecnologia tenha se disseminado. Infelizmente, não vivemos em um mundo ideal, e as tecnologias, com frequência, adiantam-se ao conhecimento sobre elas. Graças a conjunto de investigações, ao longo da última década, temos feito bons progressos na compreensão de nanopartículas, minimizando seu risco potencial no local de trabalho. Mesmo assim, como trabalhadores em todo o mundo usam a nanotecnologia para a fabricação de produtos novos e avançados, questões críticas continuam a surgir:

- Quais são as exposições dos trabalhadores e do meio ambiente às nanopartículas e a outros nanomateriais?
- Quais são os possíveis efeitos na saúde relacionados com essas exposições?
- Como podemos proteger os trabalhadores?
- Que tipo de treinamento os trabalhadores precisam?

---

<sup>4</sup> Texto traduzido por William Waissmann.

<sup>5</sup> Cientista Sênior no Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional do EUA (Niosh). Coordenador do grupo de desenvolvimento de diretrizes da Organização Mundial da saúde (OMS).

- Quais são as implicações sociais da nanotecnologia?
- Quais são as implicações legais da nanotecnologia?
- Como a nanotecnologia afeta o meio ambiente?
- Como podemos proteger o meio ambiente?

Felizmente, não é demasiado tarde para encontrar as respostas para estas e outras perguntas que surgem com a evolução do campo. Enquanto continuamos a avançar juntos, cuidadosa e sistematicamente, podemos desfrutar dos benefícios da nanotecnologia, assegurando, ao mesmo tempo, proteção contra danos ao trabalhador e ao ambiente.

No centro global de nanotecnologia que é o Brasil, a Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Saúde Ocupacional (Fundacentro) está pavimentando o caminho. Afiliada ao Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil<sup>6</sup>, a Fundacentro é parceira de longa data do National Institute for Occupational Safety and Health (Niosh), que faz parte dos Centers for Disease Control and Prevention (CDC), dos EUA, e é a única agência norte-americana designada, por lei, a realizar pesquisas e fazer recomendações para prevenir acidentes e doenças relacionadas ao trabalho. Além disso, a Fundacentro é um Centro Colaborador dinâmico da Organização Mundial da Saúde (OMS).

Por meio de parcerias como estas, a Fundacentro tem uma abordagem inovadora para promover a segurança e a saúde na nanotecnologia, muitas vezes através de novas formas de comunicação. Por exemplo, em 2009, a Fundação criou a série Nanotecnologia em Quadrinhos, atualmente com 5 HQs fáceis de entender e que descrevem o uso seguro da nanotecnologia.

Embora baseada no Brasil, a instituição não limita seus esforços às fronteiras do país. Um exemplo recente de seu trabalho mundial é a contribuição para o guia Protegendo trabalhadores dos riscos ocupacionais de nanomateriais, da OMS.

Agora, a Fundacentro espera atingir um público ainda maior. Com esta nova compilação de artigos escritos por especialistas no cam-

---

<sup>6</sup> Nota da editora: a partir de 2019, a Fundacentro passou para o Ministério da Economia.

po, a Fundação fornece uma excelente visão geral dos esforços locais e internacionais para promover a segurança da nanotecnologia. A partir de ações governamentais e sindicais para as questões sociais, legais e éticas, para a vigilância em saúde e comunicação científica, este livro abrangente aborda os esforços notáveis que ocorrem não só no Brasil, mas também em todo o mundo.

É um prazer apresentar Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologias e macroinquietações. É meu desejo que aqui, nas páginas deste livro, os leitores venham encontrar as respostas que procuram sobre segurança e saúde da nanotecnologia.

Ao compartilhar este conhecimento, a Fundacentro está fazendo sua parte para proteger os trabalhadores enquanto nos mantemos no compasso desta tecnologia extraordinária.

\*\*\*\*\*

## *Nota do organizador para a 1ª edição*

Caríssimas leitoras

Caríssimos leitores,

Ao lhes agradecer o interesse nesta obra coletiva que agrupa vários autores de várias áreas do conhecimento e na expectativa que ela contribua para a reflexão das implicações e impactos das nanotecnologias no mundo do trabalho e em nosso dia a dia, se faz mister informar que, sem que fosse esta a proposta inicial, esta obra já em seu lançamento se converte em um registro histórico do estado da arte sobre o tema de alguns anos atrás.

São muito os percalços que podem ocorrer a um projeto e este, especificamente, não foi diferente de maneira que existe um lapso de tempo entre a conclusão dos artigos em 2016 e sua publicação em 2021.

Este fato, embora significativo, não diminui em nada a importância do conhecimento aqui descrito, pois o mesmo não envelheceu tanto quanto o tempo poderia fazer crer.

Assim, com este panorama, todas e todos que colaboraram com este projeto desejam-lhes uma agradável e proveitosa leitura.

\*\*\*\*\*

# Sumário

Introdução .....	21
<i>Capítulo I – Contextualização</i>	
Apresentação.....	25
O que são as nanotecnologias e suas implicações para a SST .....	27
Referências .....	30
<i>Capítulo II – Ações da Fundacentro</i>	
Apresentação .....	33
Descrição do projeto da Fundacentro e seus resultados.....	35
Referências .....	45
Nanotecnologias, saúde e segurança em quadrinhos .....	47
Referências .....	53
<i>Capítulo III – Algumas ações governamentais na interface das nanotecnologias com a segurança e saúde no trabalho</i>	
Apresentação .....	57
O Fórum de Competitividade em Nanotecnologia e o Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN) .....	59
Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN) .....	61
Referências.....	65
Nanotecnologia no Brasil do século XXI: desenvolvimento para que e para quem?.....	67
Introdução .....	67
Nanopartículas e macropolíticas: por onde vai o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil .....	69
Conclusões preliminares: para que e para quem.....	75
Referências .....	77
<i>Capítulo IV – Nanotecnologias e ações sindicais</i>	
Incorporação de progresso técnico, negociação coletiva e formação sindical: análise de uma experiência com nanotecnologias no Brasil .	81
Referências.....	95
Nanofetichismo e os trabalhadores: abordagens participativas para questões de saúde ambiental.....	97
Referências.....	103
<i>Capítulo V – As redes brasileiras de pesquisa em nanotoxicologia</i>	
Apresentação .....	107
O avanço da nanotecnologia e os riscos tóxicos de seus resíduos aos ambientes aquáticos: necessidade do estabelecimento de modelos de avaliação de riscos ambientais.....	109



Nanomateriais de carbono .....	110
Nanopartículas metálicas .....	112
Referências.....	115
Agradecimentos pelo apoio .....	116
A importância da nanotoxicologia no desenvolvimento de nanotecnologias sustentáveis .....	117
Introdução .....	117
Análise da produção bibliográfica em nanotoxicologia.....	118
Referências .....	121
Rede Nanotox.....	123
Referências .....	129
Rede cooperativa de pesquisas em nanotoxicologia: toxicologia ambiental de nanopartículas de CuO e Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	131
Referências.....	137
<i>Capítulo VI – Nanotecnologias, sociedade e o mundo do trabalho</i>	
Apresentação .....	141
Além do reino de Lilliput: desafios sociais frente às nanotecnologias .....	145
Os desafios a enfrentar.....	146
Nanotecnologia: quando o tamanho é documento.....	148
Considerações finais .....	153
Referências.....	155
O deslocamento do trabalho para o nanomundo.....	157
Referências.....	163
Renanosoma: onde as ciências e ativismo se encontram.....	165
Introdução .....	165
Antecedentes.....	165
2004 – O ano de formação.....	166
2005 –Ano de início das atividades .....	167
Contribuição da Renanosoma ao processo de regulação das nanotecnologias no Brasil (2004-2016).....	173
Referências.....	181
Quanto mais conhecemos mais tomamos consciência dos riscos.....	183
Referências .....	191
Nanotecnologia e engajamento público .....	193
Por que envolver o público? .....	194
Quando envolver o público?.....	196

Como envolver o público? .....	197
Onde engajar o público? .....	198
Quem deve engajar o público? .....	199
Referências.....	201
As novas tecnologias e a precarização social do trabalho: uma abordagem sócio-histórica dos fenômenos da inovação tecnológica e da precarização social do trabalho .....	203
Inovação tecnológica e as mudanças nos meios de produção .....	204
Quarta Revolução Industrial .....	207
Precarização do trabalho e as inovações tecnológicas.....	208
Os riscos das novas tecnologias .....	209
Precarização social do trabalho.....	211
Considerações finais .....	217
Referências .....	219
 <i>Capítulo VII – Nanotecnologias e o direito</i>	
Apresentação .....	223
Risco ambiental proporcional e o tratamento jurídico da nanotecnologia a partir da precaução.....	225
Introdução .....	225
A precaução.....	226
Risco ambiental proporcional, precaução e nanotecnologia.....	228
Referências.....	231
Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a hard law e a soft law .....	233
Referências .....	241
Apêndice .....	243
 <i>Capítulo VIII – Nanotecnologias e ética</i>	
Apresentação .....	247
Nanotecnologia e ética.....	249
Introdução .....	249
Ética do faça você mesmo em nanotecnologia .....	250
Inventário de questões nanoéticas e níveis de sensibilização da pesquisa responsável e inovadora (PRI) .....	252
Questões para diálogos futuros .....	254
Conclusão .....	257
Agradecimentos .....	257
Referências.....	259

## *Capítulo IX – Nanotecnologias e vigilância da saúde dos trabalhadores*

Apresentação.....	263
Nanomateriais: saúde e segurança dos trabalhadores .....	265
Riscos potenciais de nanopartículas e nanomateriais .....	265
Absorção e Distribuição.....	265
Efeitos celulares.....	266
Efeitos orgânicos selecionados pulmonares .....	266
Efeitos cardiovasculares .....	267
Efeitos digestivos, neurológicos e endócrinos.....	267
Controle de ambientes de trabalho.....	268
Considerações finais .....	269
Referências .....	271

## *Capítulo X – Nanotecnologias e comunicação científica*

Apresentação .....	277
Nanotecnologias e comunicação científica .....	279
Referências .....	283
Comunicação e nanotecnologia .....	285
Referências .....	291

## *Capítulo XI – Nanotecnologias no cenário internacional*

Apresentação .....	295
A regulação europeia dos nanomateriais: um diálogo de surdos .....	297
Introdução .....	297
Ações da Comissão Europeia em torno dos nanomateriais: breve avaliação .....	299
Iniciativas em busca de uma nanogovernança.....	301
Os Estados-membros e suas medidas legais para obter mais informações.....	301
O nanorregistro europeu: proposta recusada .....	303
Regulamentar nanomateriais através de REACH: propostas concretas que se deixam passar.....	304
Qual o futuro da nanorregulação na Europa? .....	304
Referências .....	305
A nanotecnologia na América Latina: qual o enfoque sobre os riscos? .....	307
Introdução .....	307
As nanotecnologias na América Latina .....	308
As posições de ONGs e sindicatos face ao avanço da comercialização da nanotecnologia .....	310

Comentário final .....	312
Referências .....	313
História da nanotecnologia no Irã .....	317
Programas nanotecnológicos, política e estratégias.....	318
Instituições e companhias em nanotecnologia.....	322
Conselho de Iniciativa Nanotecnológica no Irã.....	322
Algumas instituições ativas em nanotecnologia .....	323
Instituto de Serviços para o Mercado de Tecnologia (Tech-Market Services Institute - Corridor) .....	323
Escritório de Patentes do Irã (Iran Patent Office) .....	324
Rede de laboratórios em nanotecnologia (Nanotechnology Laboratory Network) .....	324
Comitê de Padronização Internacional em Nanotecnologia (Nanotechnology Standard and Safety- INSC).....	325
Rede Iraniana de Segurança em Nanotecnologia (Iran Nanotechnology Safety Network).....	326
Comitê Estratégico Conjunto de Nanometrologia (Joint Nanometrology Strategic Committee).....	326
Companhias ativas no campo da nanotecnologia .....	326
Cooperação internacional .....	328

### *Capítulo XII – Nanotecnologias e meio ambiente*

Apresentação.....	331
Possíveis impactos de nanotecnologia no meio ambiente .....	333
Referências .....	339

### *Capítulo XIII – Nanotecnologias e a segurança e saúde no trabalho*

Apresentação.....	343
Propostas para gestão de riscos ocupacionais em nanotecnologias ...	345
Introdução .....	345
Metodologia .....	346
Resultados.....	347
Abordagens estratégicas (quatro propostas) .....	351
Abordagens metodológicas (sete propostas).....	351
Abordagens pragmáticas tipo “control banding – CB” (seis propostas).....	352
Conclusão.....	352
Referências .....	355
Avaliação de riscos no desenvolvimento de nanotecnologia em laboratório de pesquisa: estudo de caso.....	357
Referências .....	363

Participação dos trabalhadores na gestão dos riscos das nanotecnologias .....	365
Referências.....	373
O princípio da precaução aplicado aos nanomateriais.....	375
Referências.....	381
Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia (S-SST/Labnano) .....	383
Introdução .....	383
Metodologia.....	384
S-SST/Labnano.....	384
Discussão e conclusão .....	386
Referências .....	391
Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologia e a saúde do trabalhador .....	393
Introdução .....	393
Nanotecnologia .....	394
Potencial econômico da nanotecnologia .....	395
Presença da nanotecnologia.....	395
Riscos da nanotecnologia.....	396
Trabalhadores e a nanotecnologia.....	398
Conclusão .....	399
Referências.....	401
Considerações finais.....	403
Referências .....	405
Agradecimentos do organizador .....	407
Sobre os autores .....	409

## ***Introdução***

*Equipe do projeto “Impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e meio ambiente”, da Fundacentro*

Esta coletânea de textos nasceu no âmbito do projeto-atividade de pesquisa e difusão de conhecimentos da Fundacentro (CTN/SP) intitulado Impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e meio ambiente, coordenado pela Dra. Arline Sydnéia Abel Arcuri. Com mais de dez anos de atividade, o projeto conta com inúmeras publicações, palestras proferidas em eventos da área e participações em congressos e similares, além de cooperação sobre o tema com outras instituições.

O foco principal da publicação é justamente aquele que norteia o projeto no campo em que foi desenvolvido, tendo como objetivo principal traçar um panorama desta questão sob variados pontos de vista, abordando de maneira multidisciplinar os possíveis impactos das nanotecnologias na segurança e na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente. O esforço de todos os integrantes da equipe do projeto, tanto servidores da Fundacentro quanto pesquisadores de outras instituições ou independentes, permitiu a construção deste rico mosaico de ideias e reflexões sobre as nanotecnologias, tema que, segundo muitos, caracterizará nossa época.

A importância crescente do uso de novos materiais em escalas nanométricas no ambiente de trabalho é a grande motivação para as abordagens aqui expostas. A história (do trabalho) tem ensinado que, sem prevenção e precaução, as consequências podem ser (e, em geral, efetivamente são) desastrosas, sobretudo para os trabalhadores, pois são estes os primeiros a sentirem os eventuais efeitos adversos das novas tecnologias no ambiente laboral. Além disso, inquieta os diversos autores que colaboraram com este volume a escassez de informações sobre os efeitos dos nanomateriais sobre a saúde humana e o meio ambiente.

Desde o relato das ações da equipe da Fundacentro e de outros órgãos governamentais, as nanotecnologias são aqui descritas por meio de suas interfaces com áreas como a ação sindical, a sociedade e o mundo do trabalho, o direito, a ética, a vigilância da saúde dos trabalhadores, a comunicação científica, o meio ambiente e a engenharia de segurança.

Valiosas contribuições também foram recebidas de autores estrangeiros que nos emprestaram suas visões sobre o mesmo tema, a partir das perspectivas de seus próprios países e culturas. São físicos, químicos, engenheiros, sociólogos, bacharéis em direito, biólogos, antropólogos, filósofos, jornalistas, economistas, farmacêuticos e médicos que dividiram conosco seus conhecimentos. A todos estes fica uma expressão de agradecimento, além também daqueles que nos legaram seus esforços para que fosse possível completar esta empreitada.

Assim, apesar de pequeno não querer dizer seguro e das macroinquietações advindas das nanotecnologias, acreditamos que a discussão permanente sobre os riscos e os benefícios de novas tecnologias com o pleno engajamento e participação de todos é a melhor (talvez a única) alternativa para conduzir o progresso tecnológico voltado à obtenção de equidade e justiça social.

Boa leitura!



# Capítulo I

## Contextualização





## *Apresentação*

*Luís Renato Balbão Andrade*

Tendo em conta que o foco principal desta coletânea de textos são os possíveis impactos das nanotecnologias na segurança e na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente, entendeu-se pertinente que este primeiro capítulo apresentasse ao leitor alguns conceitos básicos sobre as duas grandes áreas do conhecimento abordadas por este volume: (1) segurança e saúde no trabalho (SST) e (2) as nanotecnologias. Dessa forma, o texto a seguir pode ser dispensado caso o leitor já esteja familiarizado com termos e conceitos usados para os temas já mencionados.

Com relação às nanotecnologias, em síntese, é importante identificar que se trata de manipular a matéria em escala que lhe empresta novas características e que, por conta destas, seus efeitos sobre os organismos vivos e o meio ambiente são ainda pouco conhecidos. Deste desconhecimento e da incerteza que ele gera, advêm as macroinquietações, referidas no título do livro.

Para a SST, as principais ideias básicas são: acidentes não são uma fatalidade, logo não são “obra do destino”; se acidentes podem ser evitados, a prevenção é a chave para a obtenção de ambientes de trabalho seguros e saudáveis. É importante notar que, embora a contextualização abranja apenas uma parte do conjunto de conceitos e técnicas das áreas em tela, é importante para apoiar a compreensão das discussões que vêm a seguir.



## *O que são as nanotecnologias e suas implicações para a SST*

*Luís Renato Balbão Andrade*

Sob o olhar da técnica e de maneira bastante resumida, as nanotecnologias podem ser compreendidas como um conjunto multidisciplinar de técnicas que manipulam a matéria em escala nanométrica, mais precisamente partículas abaixo de 100 nanômetros (nm), cujas características por conta do tamanho diminuto, são essencialmente diferentes daquelas encontradas no material em sua forma macro (SPARROW, 2009; ISO TC/229). Um nanômetro (nm) corresponde a uma bilionésima parte do metro (ou o metro dividido por um bilhão). Para que se possa estabelecer uma comparação, um fio de cabelo humano tem aproximadamente 70.000 nanômetros de diâmetro. Ou seja, se tomarmos uma nanopartícula esférica de 100 nm de diâmetro, seria possível alinhar 700 destas partículas na largura de apenas um fio de cabelo.

Segundo a Agência Europeia para Saúde e Segurança no Trabalho – European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA, 2009a), as nanotecnologias constituem-se em uma das áreas de conhecimento-chave para o século 21, isto baseado na expectativa de que tais tecnologias venham a ser aplicadas a praticamente todas as áreas de conhecimento, o que, pela abrangência, significa amplos impactos para a sociedade, inclusive na economia e no trabalho. Apesar de tal importância, os riscos potenciais para a segurança e a saúde no trabalho ainda são relativamente desconhecidos (EU-OSHA, 2009b).

A mesma agência, em outra publicação (EU-OSHA, 2009b), incluiu as nanotecnologias como um dos principais riscos emergentes no mundo do trabalho, para os quais serão necessários estudos e investigações quanto a seus efeitos, da mesma forma como a Organização Internacional do Trabalho contemplou (OIT/ILO, 2011).

O relatório da EU-OSHA (2009a) aponta como prioritário, para futuras ações e atividades ligadas às nanotecnologias, entre outras, (1) a identificação dos nanomateriais e descrição da exposição a eles; (2) a medição da exposição aos nanomateriais e eficácia das medidas de

proteção; (3) avaliação dos riscos dos nanomateriais alinhados com o atual arcabouço legal; (4) estudos in vivo para a avaliação dos efeitos sobre a saúde dos nanomateriais; (5) validação dos métodos in vitro e dos métodos de propriedades físico-químicas para determinar os efeitos na saúde; e (6) formação dos trabalhadores e das diretrizes e práticas de manuseio para as atividades envolvendo nanomateriais. Neste cenário, é possível projetar a importância não só das pesquisas relacionadas à segurança e saúde no trabalho envolvendo nanomateriais, como também da divulgação ampla destes conhecimentos. É neste segundo aspecto que este volume se insere.

Voltando-se o olhar para o Brasil, identifica-se que o relatório da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2009) coloca que:

*é essencial que o País possa contar com a atuação de profissionais capacitados para: (I) desenvolver instrumentos e métodos de ensaio para uso em nanoescala, capazes de detectar e identificar nanopartículas e de caracterizar nanomateriais e nanodispositivos; (II) desenvolver protocolos para a bio e a ecotoxicidade; (III) desenvolver protocolos para avaliação do ciclo de vida de materiais em nanoescala, dispositivos e produtos; (IV) desenvolver ferramentas de avaliação de risco relevantes para o campo da nanotecnologia; e (V) desenvolver protocolos para controle e distribuição de nanopartículas e entidades em nanoescala.*

Provavelmente, a nanotecnologia, mais do que qualquer outra tecnologia emergente, tem sido caracterizada pela discussão de seus riscos ainda em seu início, ou seja, antes da detecção de possíveis consequências adversas. Este fato se constitui em uma oportunidade até aqui única para que se tente não repetir os erros relacionados aos impactos de novas tecnologias sobre a segurança, a saúde e o meio ambiente (HANSEN, 2009; BOWMAN, 2006; ARCH, 2009; MAYNARD, 2016).

A discussão sobre os riscos e os impactos das nanotecnologias sobre a segurança e a saúde no trabalho está presente na literatura especializada, como se pode identificar pelas referências citadas ao lon-

go do livro. Em seu volume 493, de janeiro de 2013, a revista Nature apresenta, em seu editorial, resultados de uma pesquisa conduzida por Van Noorden (2013) que indica haver falta de segurança em laboratórios com atividades de nanotecnologia. Conclusões semelhantes também foram apresentadas por Balas et al. (2010), que apontam, entre outras, que 25% dos pesquisadores não adotam proteções coletivas nos laboratórios. Ainda são escassos os dados relativos à atividade produtiva industrial, não sendo rara a negação de acesso aos pesquisadores a estes ambientes.

As nanotecnologias provavelmente caracterizarão nosso tempo sem contudo serem isentas de risco. Em geral, os trabalhadores são os primeiros expostos tanto de forma crônica (pela continuidade do trabalho por longos períodos, vários anos em alguns casos), como de forma aguda (pela quantidade de material manipulado em uma indústria). Assim, é justa e necessária uma reflexão sobre os possíveis impactos destas novas tecnologias sobre o mundo do trabalho.

## *Referências*

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Panorama da nanotecnologia no mundo e no Brasil**. 2009. Disponível em: <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/620>. Acesso em: 03 ago. 2010.

ARCH, F. E. Public Opinion. **Nanorisk Insider Report**, v. 4, p. 1-8, Fev/Mar, 2009.

BALAS, F.; ARRUEBO, M; URRUTIA, J. *et al.*, Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. **Nature Nanotechnology**, v. 5, p. 93-96, 2010.

BOWMAN, D.; HODGE, G. Nanotechnology: mapping the wild regulatory frontier. **Futures**, v. 38, p. 1060-1073, 2006.

EU-OSHA. European Agency for Safety and Health at Work. **New and emerging risks in occupational safety and health**. European Risk Observatory, 2009b.

EU-OSHA. European Agency for Safety and Health at Work. **Workplace exposure to nanoparticles**. European Risk Observatory, 2009a.

HANSEN, S. F. **Regulation and risk assessment of nanomaterials**. 2009. PhD Thesis (Environmental Science & Policy) - Technical University of Denmark, 2009.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho: um instrumento para uma melhoria contínua**. 2011.

ISO. International Organization for Standardization. **ISO/TC 229 – Nanotechnologies**. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/381983.html>. Acesso em: 2 Ago. 2010.

MAYNARD, A. **We don't talk much about nanotechnology risks anymore, but that doesn't mean they're gone**. 29 March 2016. Disponível em: <https://theconversation.com/we-dont-talk-much-about-nanotechnology-risks-anymore-but-that-doesnt-mean-theyre-gone-56889>. Acesso em: 10 maio 2019.

SPARROW, R. The social impacts of nanotechnology: an ethical and political analysis. **Journal of Bioethical Inquiry**, v. 6, p. 13-23, 2009.

VAN NOORDEN, R. Safety survey reveals lab risks. **Nature**, v. 493, p. 9-10, jan. 2013.

The background features a dark, almost black, space filled with vibrant, ethereal light trails. On the left side, there are broad, sweeping bands of warm orange and red light, resembling a nebula or a comet's tail. On the right side, there are more delicate, curved lines of purple and blue light, some appearing as thin, glowing arcs. The overall effect is one of dynamic energy and cosmic beauty.

Capítulo II

# AÇÕES DA FUNDACENTRO





## *Apresentação*

*Arline Sydnéia Abel Arcuri*

Este capítulo é um registro da trajetória do projeto “*Impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente*”, iniciado na Fundacentro em 2007. Em atenção aos objetivos da Fundacentro, que é uma instituição de estudos, pesquisas e difusão de conhecimentos na área de segurança e saúde no trabalho (SST), em 2006 pesquisadores da entidade começaram a identificar a necessidade de estudar os possíveis impactos de novas tecnologias, em especial as nanotecnologias sobre a SST.

Desde o início do projeto, os pesquisadores puderam constatar que, apesar do crescimento exponencial de novos produtos nanoestruturados ou com material em nanoescala, os estudos sobre os impactos destas novas tecnologias, na saúde dos trabalhadores e dos consumidores, eram muito poucos. As ações desenvolvidas desde então estão resumidas neste capítulo.



## ***Descrição do projeto da Fundacentro e seus resultados***

*Arline Sydneia Abel Arcuri<sup>1</sup>*

A Fundacentro é uma instituição de estudos, pesquisas e difusão de conhecimentos na área de Segurança e Saúde no Trabalho (SST). Criada em 1966, desde então realiza estudos a partir da identificação dos riscos de acidentes e doenças relacionadas ao trabalho, no Brasil, assim como medidas de avaliação e controle, visando a diminuir suas incidências. A Fundacentro foi vinculada ao Ministério do Trabalho em 1974.

Em atenção aos objetivos da instituição, em 2006 pesquisadores da entidade começaram a identificar a necessidade de estudar os possíveis impactos de novas tecnologias, em especial as nanotecnologias sobre a SST. As nanotecnologias eram, e ainda podem ser consideradas, tecnologias emergentes. Apesar de já existirem no mercado diversos materiais nanoestruturados, tendo em vista a grande quantidade de pesquisas de novos produtos em desenvolvimento, ainda há muito a ser introduzido, produzido e distribuído para o consumo final. Já são comercializados, por exemplo, protetores solares com nanopartículas de dióxido de titânio; diversos produtos considerados antialérgicos, como travesseiros e roupas, entre outros, contendo nanopartículas de prata; celulares superpotentes construídos com *nanochips*; emedicamentos nanoestruturados para combate de câncer que apenas destroem as células cancerosas e não as sadias; etc. Enfim, praticamente não há área de atividade humana em que a nanotecnologia não estará presente.

Desde este início, porém, os pesquisadores puderam constatar que, apesar do crescimento exponencial de novos produtos, os estudos sobre os impactos destas novas tecnologias na saúde dos trabalhadores e dos consumidores eram bem menores – o que se constata até os dias atuais. Muitas pesquisas e estudos já foram feitos, mas ainda são es-

---

<sup>1</sup> Colaboradores: José Renato Alves Schmidt, Luís Renato Balbão Andrade, Maria de Fatima Torres Faria Viegas, Patrícia Moura Dias, Valéria Ramos Soares Pinto (servidores da Fundacentro que participam do projeto Impactos das nanotecnologias na saúde do trabalhador e no meio ambiente).

cassos frente à produção de novos materiais e produtos que vêm sendo rapidamente introduzidos no mercado consumidor.

Ainda há enorme diferença entre o desenvolvimento do que poderia ser chamado de ciência da produção e o desenvolvimento da ciência dos impactos. Em 2006 houve o primeiro evento sobre o tema no auditório da Fundacentro, em São Paulo, o *I Seminário internacional nanotecnologia e os trabalhadores*, como parte da programação do *III Seminário Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente* (Semina-soma), organizado pela Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma). Este evento propiciou uma aproximação da Fundacentro com a Renanosoma, que continua até aos dias atuais. A partir dele, todos os outros seminários da Renanosoma, que são anuais, tiveram a colaboração de profissionais da Fundacentro, seja na organização, na divulgação ou na participação com palestras, minicursos e coordenações de mesas. Também como resultado desta parceria, os profissionais da Fundacentro participaram de oficinas sobre o tema, coordenadas pelo Dr. Paulo Martins, em várias edições do Fórum Social Mundial.

Em 2007, teve início na Fundacentro um projeto visando a fazer um levantamento preliminar sobre os impactos das nanotecnologias na segurança e na saúde dos trabalhadores. Foi feito um levantamento sobre as principais áreas onde estão em aplicação técnicas com nanopartículas no Brasil. Houve um primeiro levantamento de indústrias que estavam produzindo ou ainda estavam em fase de implantação de processos nanotecnológicos, assim como laboratórios e redes de pesquisa.

Nesta época, os trabalhadores conheciam muito pouco sobre as nanotecnologias, o que podia ser constatado nas palestras proferidas pelos técnicos com o intuito de divulgar conceitos básicos sobre nanotecnologia, assim como chamar a atenção sobre o que já era conhecido a respeito de seu impacto sobre a saúde. Esta constatação levou a equipe do projeto a colocar como prioridade a divulgação das informações referentes aos impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores, o que deu origem ao projeto da *série Nanotecnologia em Quadrinhos* (Fundacentro, 2009), elaborado pelo tecnologista da Fundacentro Alexandre Custódio Pinto, que na época trabalhava para o Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas (Iiep).

*A proposta de trabalho contempla, de modo geral, o esclarecimento do trabalhador sobre o conceito de nanotecnologia, suas implicações no universo do trabalho, os seus possíveis riscos à saúde e, por fim, propicia aos trabalhadores e suas entidades representativas o desejo de debate e ter um posicionamento quanto aos impactos da nanotecnologia no trabalho, no meio ambiente e na sociedade em geral.<sup>2</sup>*

O primeiro número da série de histórias em quadrinhos (HQ) abordou conceitos básicos de nanotecnologia e cada um dos quatro posteriores voltou-se a um setor econômico: Químico, Indústria da Construção, Rural e Metalúrgico. Em 2009, o projeto sobre nanotecnologia foi apresentado à Organização Mundial da Saúde como parte das atividades da Fundacentro como Centro Colaborador em saúde do trabalhador desta entidade intergovernamental. Como produto desta atividade, as quatro primeiras HQ foram traduzidas para o espanhol e o inglês e disponibilizadas para *download* no site da Fundacentro, assim como as versões em português.

Todas as histórias têm três personagens centrais, que trabalham para uma empresa transportadora. Eles têm personalidades conflitantes, inspiradas nos diálogos de Galileu: Simplício, Sagredo e Salviati. Cada um dos três personagens representa uma diferente postura frente às novas tecnologias, propiciando amplo debate de ideias ao longo do roteiro das histórias.

Também pelo reconhecimento da necessidade de se difundir informações, já em 2007 profissionais da equipe se integraram ao projeto *Engajamento público em nanotecnologia* coordenado pelo Dr. Paulo Roberto Martins. Em outubro do mesmo ano, foi realizado o *Seminário Nanotecnologia, saúde dos trabalhadores, alimentos e impactos à sociedade e ao meio ambiente*. No dia posterior a este evento, os participantes do projeto em conjunto com o Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Diesse), o Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho

---

<sup>2</sup> As HQs da série estão disponíveis em: <<http://www.fundacentro.gov.br/nanotecnologia/publicacoes>>.

(Diesat), o Iiep, a Organização Regional Interamericana de Trabalhadores da Confederação Sindical Internacional (Orit/CSI) e representantes e assessores sindicais que participaram do seminário elaboraram o texto “Apontamentos para um posicionamento sindical sobre os impactos éticos, sociais e ambientais da introdução de nanotecnologias nos alimentos, produtos e processos produtivos”.

Uma dificuldade encontrada foi visitar empresas no Brasil que trabalham com nanotecnologia. Foi possível visitar somente algumas delas e alguns laboratórios de pesquisa. Nestas poucas oportunidades de visita, pôde-se observar um preocupante descuido na manipulação de materiais nanoestruturados dentro dos laboratórios de pesquisa. Esta observação também foi feita por pesquisadores em diferentes países: embora houvesse, nos laboratórios, preocupação com segurança, ela não era específica para o trabalho com nanotecnologia (BALAS et al, 2010; ZHANG, ZHANG, WANG, 2014).

Com o objetivo de se ter informações sobre o desenvolvimento das nanotecnologias em outros países, foram organizadas várias conferências com palestrantes internacionais. Em 2008, em parceria com Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Renanosoma e Sesc Pinheiros, ocorreu a conferência com o cientista Eric Drexler, considerado o pai da nanotecnologia (WOLFART, 2008). Em 2009, realizou-se a palestra *Reflexões sobre as novas tecnologias e o mundo do trabalho*, ministrada pelo Dr. José Luís Garcia – sociólogo e pesquisador do Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa. Em 2010, ocorreram duas palestras, ambas organizadas pela Fundacentro e instituições parceiras: *Nanocosméticos e Nanotecnologia, agricultura, agroindústria e alimentos*, apresentadas por Georgia Miller, coordenadora, de 2005 a 2012, do Projeto Nanotecnologia para a ONG internacional *Friends of the Earth* (Amigos da Terra) na Austrália.

Outras duas importantes palestras internacionais ocorreram no pré-seminário *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente do X Semináriosoma*: a primeira, “Nanotecnologia e regulação na Europa: possíveis impactos junto aos trabalhadores”, proferida por David Azoulay, advogado e gerente do escritório de Genebra do Center for International Environmental Law – Centro de Direito Internacional Ambiental (Ciel); a segunda, “Nanomateriales: cuales son los intereses de los trabajadores?”, por Aida Maria Ponce Del Castillo, chefe da unidade sobre condições de trabalho e pesquisadora em saúde e segurança do European Trade Union Institute – Instituto Sindical Europeu (Etui).

Alguns colegas desenvolveram atividades de pós-graduação no tema. Destacamos nesse sentido: Dra. Maria Gricia Lourdes Grossi, que realizou, em 2009, na Universidade Stuttgart, o pós-doutorado “Nanotecnologia e a proteção do trabalhador”; Dr. Luís Renato Balbão de Andrade, que defendeu a tese de doutorado “Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia”, junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; M.e José Renato Alves Schmidt, que em 2017 apresentou a dissertação de mestrado “Avaliação de risco envolvendo a manipulação de nanomateriais em um laboratório de pesquisa” ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina; e M.<sup>a</sup> Maria de Fatima Torres Faria Viegas, que em 2018 apresentou a dissertação “Avaliação da qualidade de revisões sistemáticas sobre toxicidade de nanopartículas de prata Avaliação da qualidade de revisões sistemáticas sobre toxicidade de nanopartículas de prata” ao Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (Ensp), na Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz).

Em janeiro de 2009, teve início o programa *Nanotecnologia do avesso*, organizado pela Renanosoma, com o qual a Fundacentro tem prestado grande colaboração tanto por meio de inúmeras entrevistas de seus técnicos quanto na divulgação da atividade. Este programa é transmitido todas as terças feiras das 15h às 16h via internet. Em janeiro de 2014, teve início mais um programa também com transmissão via internet, chamado *Nanoalerta*, que também conta com a colaboração de técnicos da Fundacentro em entrevistas e divulgação. Este último é transmitido às segundas feiras das 11h às 12h através do *site*: <<http://www.nanotecnologiadoavesso.org/webtv>>.

Em 2010/2011, a Fundacentro integrou o *Fórum de Competitividade em Nanotecnologia*, coordenado pela Secretaria da Inovação do Ministério do Desenvolvimento da Indústria e do Comércio Exterior (MDIC), com a participação em grupos de trabalho de regulação e de capacitação. Em maio de 2010, a Fundacentro realizou, junto com outras instituições parceiras, o simpósio *Impactos das nanotecnologias sobre a saúde dos trabalhadores e sobre o meio ambiente*, com a apresentação de trabalhos científicos. No mesmo ano, teve início a participação no projeto de pesquisas *Nanotecnologias aplicadas aos alimentos e aos biocombustíveis: reconhecendo os elementos essenciais para*



*o desenvolvimento de indicadores de risco e de marcos regulatórios que resguardem a saúde e o ambiente*, coordenado pelo Dr. William Weissmann, da Fiocruz.

Desta, resultou um livro, uma história em quadrinhos e a participação em fóruns internacionais, em que foram apresentados trabalhos sobre nanotecnologia desenvolvidos pela equipe do projeto. Em consequência, foram apresentados os trabalhos, na forma de poster, *Nanostructured materials and The Workers Lack of Knowledge* no *6th International Symposium on Nanotechnology, Occupational and Environmental Health (NanOEH)*, em Nagoia, no Japão (2013); e *Actions of workers training in Nanotechnology*, no *Global Forum for Prevention*, no *XX World Congress on Safety and Health at Work*, realizado em Frankfurt, Alemanha (2014).

Ainda em 2010, teve início a participação no *Projeto de Nanotecnologia e Interações com a Agricultura e Comunidades Rurais*, do Iiep. No âmbito deste projeto, técnicos da Fundacentro participaram de oficinas e seminários e colaboraram com a elaboração do *Guia básico de referência em nanotecnologia*.

Em 2011, destaca-se o convite recebido da Organização Mundial da Saúde (OMS) para a participação no Guide Developing Group, criado para desenvolver o *WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials*, publicado em 2017. O tecnologista Luís Renato Balbão Andrade, da Fundacentro do Rio Grande do Sul, contribuiu como revisor de uma das perguntas condutoras que subsidiam o guia. Em 2016, a tecnologista da Fundacentro do Rio de Janeiro, Maria de Fátima Torres Faria Viegas, foi aceita pela OMS como colaboradora na elaboração do texto, além da pesquisadora Arline Sydneia Abel Arcuri, que participa desde o início dos trabalhos.

Também em 2011 ocorreram a participação no *Terceiro encontro regional da América Latina e Caribe sobre o Enfoque Estratégico para o Gerenciamento Internacional das Substâncias Químicas (SAICM)* e a oficina de trabalho *Nanotecnologia e Nanomateriais Manufaturados*, organizada pela Unitar na Cidade do Panamá.

Por ocasião da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, em 2012, a Fundacentro teve participa-

ção em atividades relacionadas com a nanotecnologia. Após o primeiro curso aberto oferecido pela Fundacentro, *Conceitos de nanotecnologia e impactos à saúde dos trabalhadores*, ocorreu outro – *Avaliação ambiental de nanopartículas*, ministrado por Kenneth F. Martinez, higienista industrial na época trabalhando no National Institute for Occupational Safety and Health (Niosh) dos Estados Unidos. Após a aula teórica, houve uma aula prática em colaboração com a Embrapa, na cidade de São Carlos (SP).

Em dezembro de 2012 ocorreu a participação da coordenadora do projeto, Dra. Arline Sydneia Abel Arcuri, na Audiência Pública *Atual situação da nanotecnologia no Brasil*, na Câmara Federal de Deputados, convidada pelo então presidente da Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Em 2013, destaca-se a participação de dois profissionais da Fundacentro (Luís Renato Balbão Andrade e Maria de Fátima Torres Faria Viegas) no Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN), coordenado pela Secretária de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação do então Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), como representantes do Ministério do Trabalho. Eles tiveram importante influência para que fossem convidados a participar deste comitê alguns representantes dos trabalhadores. Até então, havia, além dos representantes do governo, apenas os de empregadores. O CIN faz parte da Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia, lançada naquele ano pelo MCTI. Acrescenta-se que, por meio deste comitê, a Fundacentro foi convidada a participar de reuniões com a Comissão Europeia, representando o Ministério do Trabalho, no EuroNanoForum, realizado em Dublin, na Irlanda, em 2013.

Após praticamente dez anos do início do projeto, constatou-se a necessidade de desenvolver mais atividades voltadas à divulgação de informações para trabalhadores e profissionais de Saúde e Segurança. Por esse motivo, a equipe desenvolveu o programa mínimo de um curso de 16 horas/aula que pudesse ser reproduzido em várias localidades do país. A primeira edição do curso ocorreu em junho de 2016.

A Tabela 1 traz resumidamente diferentes atividades desenvolvidas pela equipe deste projeto, que teve início em 2007.

**Tabela 1** Resumo das atividades desenvolvidas pelo projeto desde 2007 até o fim de 2016

Atividade	Biênio	2007	2009	2011	2013	2015	Total
		2008	2010	2012	2014	2016	
Artigos/ capítulos de livro em Publicações internacionais			3			1	4
Artigos/capítulos de livro e outras publicações ( <i>folders</i> , notas técnicas, etc.) em <i>Publicações nacionais</i>		2	5	2	2	2	13
Cooperação/participação em projetos de outras instituições			2				2
Coordenação ou participação na coordenação e na execução de eventos		12	10	2			24
Cursos ministrados			1	3	3	4	11
Entrevistas concedidas		3	8	3	9	18	41
Histórias em quadrinhos finalizadas	Português	1	1		3	1	6
	Inglês		2		2		4
	Espanhol		2		2		4
Histórias em quadrinhos republicadas				2	2	1	5
Mestrado ou doutorados defendidos					1		1
Palestras proferidas		27	45	34	25	29	160
Participação em audiências públicas, comitês, comissões e assembléas nacionais			1	1	2		4

(...)

(...)

<b>Atividade</b>	<b>Biênio</b>	<b>2007</b>	<b>2009</b>	<b>2011</b>	<b>2013</b>	<b>2015</b>	<b>Total</b>
	<b>2008</b>	<b>2010</b>	<b>2012</b>	<b>2014</b>	<b>2016</b>		
Participação em reuniões internacionais	1				2	1	<b>4</b>
Participações em bancas acadêmicas					2	1	<b>3</b>
Participações em eventos realizados no exterior com apresentação de trabalho	1	2	2	4			<b>9</b>
Participações em eventos realizados no Brasil com apresentação de trabalho		4	1	2			<b>7</b>
Pós-doutorado		1					<b>1</b>
Trabalhos apresentados em eventos no Brasil	1	5	1			1	<b>8</b>
Trabalhos apresentados em eventos no exterior	1	4	3	2			<b>10</b>

Fonte: organizada pelos autores.

As atividades reunidas na Tabela 1 foram realizadas por profissionais da Fundacentro de São Paulo, do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, do Paraná, do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Fazem também parte da equipe do projeto profissionais da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese), da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), do Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisa (Iiep), do Departamento Intersindical de Estudos e Pesquisas de Saúde e dos Ambientes de Trabalho (Diesat), do Sindicato dos Metalúrgicos de Osasco, do Sindicato dos Metalúrgicos de São Paulo, da Confederação Nacional dos Metalúrgicos/CUT e da Superintendência Regional do Trabalho/SP. Conta-se, ainda, com a colaboração do antropólogo Antonio Gracias Vieira Filho.

Pela Fundacentro, fizeram parte do projeto *Impactos das nanotecnologias na saúde do trabalhador e no meio ambiente*, alguns até o momento de finalização deste capítulo e outros em algumas atividades: Arline Sydneia Abel Arcuri; Alexandra Rinaldi; Alexandre Custódio Pinto; Clovis Eduardo Meireles; Debora Maria Santos; Fernanda de Freitas Ventura; Glaucia de Menezes Fernandes; Glaucia Nascimento de Souza; Jorge Marques Pontes, José Renato Alves Schmidt; Karina Penariol Sanches; Luís Renato Balbão Andrade; Marcos Paiva Matos; Maria Ângela Pizzani Cruz; Maria de Fatima Torres Faria Viegas; Maria Gricia Lourdes Grossi; Marila Geraldo Destro Apolinário; Mey Rose de Mello Pereira Rink; Patrícia Moura Dias; Paula Peixoto Monteiro Nassar; Paulo Alves Maia; Valéria Ramos Soares Pinto; e Vanda Delli de Souza Teixeira

## *Referências*

BALAS, F.; ARRUEBO, M; URRUTIA, J. *et al.* Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. **Nature Nanotechnology**, v. 5, p. 93–96, 2010.

FUNDACENTRO. Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. **Projeto da série nanotecnologia em quadrimhos**. 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/projetos-encerrados/nanotecnologia>. Acesso em: 9 set. 2016.

WOLFART, G. Nanotecnologia para aumentar a habilidade humana. **Revista do Instituto Humanitas Unisinos – on-line**. 2008. Disponível em: <http://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/1816-eric-drexler>. Acesso em: 9 nov. 2016.

ZHANG, C.; ZHANG, J.; WANG, G. Current safety practices in nano-research laboratories in China. **J. Nanosci. Nanotechnol.**, v. 14, n. 6, p. 4700-4705, 2014. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24738449>. Acesso em: 9 set. 2016.



## *Nanotecnologias, saúde e segurança em quadrinhos*

*Antonio Gracias Vieira Filho*

Embora estejam cada vez mais presentes em sítios da internet e matérias jornalísticas, não se pode dizer que as nanotecnologias sejam objeto de conversas corriqueiras, no cotidiano da maior parte dos indivíduos. Ainda mais se considerarmos o caso do Brasil, com seus variados problemas em todos os níveis de educação e um precário mercado de literatura de divulgação científica. Além disso, observando a rotina dos trabalhadores que ocupam o chamado “chão de fábrica”, devemos somar, aos problemas de sua formação, a falta de informações relevantes sobre sua saúde e sua segurança nos ambientes laborais. Nesse contexto, cabe perguntar: como explicar, a um público tão vulnerável, de que tratam as tais nanotecnologias, seus riscos e sua potencialidades? Como dito, mesmo que hoje esse conceito esteja mais acessível a um curioso, ainda não se trata de assunto banal em rodas de conversa.

Além da dificuldade em esclarecer as possibilidades de manipulação da matéria, para fins científicos e industriais, em uma escala de um milionésimo de milímetro, havia um conjunto de obrigações adicionais. A primeira delas era definir uma ferramenta pedagógica atraente, que evitasse a aridez acadêmica.

Uma das virtudes do grupo *Impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores e meio ambiente*, capitaneado pela Fundacentro, é sua interdisciplinaridade. Nele, colaboram pesquisadores de diversas áreas (física, medicina, química, antropologia, entre outras) e variadas entidades vinculadas à representação dos trabalhadores (sindicatos, organizações não governamentais, Dieese etc). Uma dessas instituições,<sup>3</sup> era representada no grupo por um físico, Alexandre

---

<sup>3</sup> O Intercâmbio, Informações, Estudos e Pesquisas (Iiep) é uma organização não governamental dedicada ao estudo de políticas públicas na área de educação e preservação da memória das lutas sindicais no Brasil.



Custódio Pinto,<sup>4</sup> que já havia sugerido que o material sobre nanotecnologias fosse inspirado nos *Diálogos*<sup>5</sup> de Galileu. Um formato interessante para a discussão crítica de um conceito, com variados pontos de vista. No entanto, para abordar essa temática com um maior apelo junto aos trabalhadores, talvez fosse necessário um instrumento mais chamativo que uma tradicional cartilha ilustrada.

Embora seja tentador romancear o surgimento de uma ideia – como a maçã sobre a cabeça de Newton –, deve-se dizer que o uso de histórias em quadrinhos, neste caso, foi o resultado de uma frustração. Tornei-me um pesquisador associado ao Iiep em um período de minha vida em que tentava a sorte como roteirista de quadrinhos. À época, lidava com a frustração da recusa de alguns roteiros enviados a uma grande editora. O fracasso, aliás, foi ainda maior: não só foram rejeitados como bastante criticados. De todo modo, nessa tentativa, pude me aprofundar em um universo que consumi avidamente durante a infância e a adolescência, passando dos personagens de Mauricio de Sousa aos heróis da Marvel e chegando às respeitadas *graphic novels*. Ao estudar como se dá a interação entre imagens em páginas divididas em quadros e balões de texto, tomei contato com as publicações de Scott McCloud e Will Eisner destinadas a potenciais desenhistas e roteiristas. E assim, em uma parada para o almoço, eu e Alexandre, pesquisadores do Iiep, tivemos um prosaico diálogo sobre o projeto da Fundacentro. Sugerimos que o material fosse feito em quadrinhos e ele respondeu: “Ótimo! Então você faz o roteiro”.

A percepção sobre os quadrinhos – ou “arte sequencial” – é ambígua: passatempo para crianças, fenômeno de consumo de massa, criadores de mitologias, espaço para o debate de questões espinhosas da sociedade etc. Frente à grande literatura, enfrentaram olhares de desconfiança. Há muitos exemplos, porém, que reforçam sua elaboração artística para além de um mero produto da indústria cultural. Obras

---

<sup>4</sup>Atualmente, é tecnologista da própria Fundacentro e ainda colabora com o grupo.

<sup>5</sup> Em *Diálogos sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, obra originalmente publicada em 1632, Galileu utiliza três personagens, Salviati, Simplicio e Sagredo, para discutir temas relativos à astronomia, à mecânica, às marés, à filosofia e à liberdade de pensamento. O primeiro, inspirado no próprio Galileu, defende o sistema copernicano; Simplicio é favorável ao modelo aristotélico e ptolomaico; e Sagredo estimula o debate entre os dois, a partir de suas dúvidas. A obra pode ser encontrada em edição brasileira da Editora 34, com tradução de Pablo Rubén Mariconda.

como *Persépolis* (SATRAPI, 2007) e *Maus*<sup>6</sup> (SPIEGELMAN, 2009) são ilustrativas. Esclarecido o valor estético dos quadrinhos, cabia estabelecer seu potencial como ferramenta pedagógica.

A junção dos *Diálogos* com a estrutura da arte sequencial permitiu a construção de um mecanismo de informação e debate que poderia ser, a um só tempo, compreensível e instigante. Inspirados por Galileu, criamos três personagens principais, encarnando diferentes comportamentos frente à inovação tecnológica: um crítico, uma entusiasta e um terceiro que oscila entre o questionador e o confuso, propiciando debates entre os dois primeiros.

Considerando que seria discutida a utilização das nanotecnologias para a elaboração de produtos e aplicações comerciais, era preciso definir qual o local de trabalho desses personagens, de forma a possibilitar que seus diálogos fossem verossímeis. Ficou decidido que seriam trabalhadores de uma transportadora, o que permitiria que tomassem contato com todo tipo de produto que necessitasse de deslocamento. Dessa elaboração, surgiram um caminhoneiro bem informado e crítico, Seu Antonio; uma supervisora apaixonada por novidades tecnológicas, Dona Sandra; e o ingênuo Gabriel, ajudante do motorista. Todos funcionários da Transportadora Novo Universo.

Estava criado um modelo que poderia ser replicado em uma série de publicações. E as possibilidades abertas pela atuação em uma transportadora encaixaram-se à perfeição com a necessidade de publicações temáticas, que abordassem diferentes setores econômicos nos quais o uso de nanotecnologias já era uma realidade. Mas ainda havia a necessidade de seguir cuidados metodológicos que evitassem a excessiva simplificação do conteúdo a ser explorado. Uma precaução importante, levando em conta as possibilidades de descolamento da realidade oferecidas pelo formato escolhido: nos quadrinhos, uma viagem à Lua pode durar poucos segundos. Deveriam ficar de lado a reificação e a superficialidade – como elementos demasiado fantasiosos ou roteiros pouco realistas. Nesse sentido, a supervisão de Alexandre foi definitiva para o sucesso do projeto.

---

<sup>6</sup> Em 1992, *Maus*, de Art Spiegelman, foi agraciado com o prestigioso prêmio Pulitzer na categoria *Special awards and citations – Letters*.

Até aqui, foram produzidas cinco revistas. O primeiro número, *Nanotecnologia: o transporte para um novo universo* (2008), teve caráter introdutório. O segundo, *Nanotecnologias: maravilhas e incertezas no universo da química* (2010), foi dedicado aos trabalhadores das indústrias químicas. O terceiro, *Nanotecnologia: um universo em construção* (2013), foi destinado aos operários da construção civil. **A edição de número quatro, *Nanotecnologia no campo* (2013), foi voltada aos trabalhadores rurais e às aplicações na agricultura. Há um quinto número, *Nanotecnologia no setor metalúrgico automotivo*, publicado em 2017.**

Outros fundamentos teóricos foram utilizados para a construção da série. Os conceitos de fetiche da mercadoria e trabalho alienado estão presentes nos roteiros. Recorrendo à obra de Karl Marx, trata-se da ideia de que os indivíduos, concentrados que estão nas mercadorias, nos objetos em si, deixam de lado o fato de estes serem o produto de relações sociais. No modo de produção capitalista em geral, e nos cenários específicos abordados (indústria química, construção, campo e indústria automobilística), tais relações estabelecem uma situação desfavorável para os trabalhadores. Uma cadeira, por exemplo, mais que a junção de pedaços de madeira, pode ser vista como o trabalho daquele que cortou uma árvore, o desmatamento de uma floresta, a atuação irregular de uma madeireira, etc. Tal cadeira pode ser vista, por outro lado, como o resultado da produção legalizada e com regras de manejo sustentáveis. E pode ser analisada, por fim, considerando a diferença entre o que foi pago para quem cortou a árvore e aquilo que foi cobrado pela venda do produto acabado.

Outro ponto fundamental para a compreensão das obscuras relações sociais que compõem uma mercadoria diz respeito à ideia questionável de o avanço tecnológico ter sempre a marca da positividade. Uma noção que parece ser insistentemente propagandeada pela indústria e pelos programas de curiosidades. O avanço tecnológico, longe de garantir um aumento perpétuo de ganhos sociais, muitas vezes traz consigo riscos e acidentes que poderiam ser evitados caso fosse seguido o princípio de precaução. Os acidentes nas usinas nucleares de Three

Mile Island<sup>7</sup>, Chernobyl<sup>8</sup> e Fukushima<sup>9</sup> são bons exemplos. Além desses casos mais chamativos, também podemos considerar os males causados pela indústria tabagista (que chegou a utilizar médicos em seus comerciais), o uso de chumbo em variados produtos (combustíveis, tintas, entre outros) e gorduras *trans* em alimentos processados. Fora os grandes acidentes e os produtos que representam perigos ao consumidor, também há as situações de risco laboral, como os trabalhadores de minas e marmorarias expostos à silicose e aqueles que atuam em plantas produtivas que utilizam o benzeno.

Ora, todos esses riscos decorrem de relações sociais que se cristalizam em processos produtivos e mercadorias. Um determinado produto é indissociável da forma como é fabricado. E isso deveria ficar claro aos leitores de nossas histórias. Didaticamente, ao escolher um determinado tipo de mármore para o piso de sua casa, um consumidor deveria ser capaz de refletir sobre as condições laborais e o estado dos pulmões do trabalhador que produziu esse material. Assim, ao ler sobre nanotecnologias, qualquer indivíduo deveria ponderar sobre os riscos para os trabalhadores que lidam diretamente com essa inovação; ser capaz de considerar os perigos de contaminação do meio ambiente no uso e no descarte desses materiais; e fazer uma escolha informada sobre o consumo ou não dos produtos que contenham algum tipo de partícula ou processo nanotecnológico. Em todas essas situações, o trabalhador que lida com nanotecnologias, ao ler nossas histórias, deveria ser instigado a analisar criticamente sua própria condição.

Desejávamos, avançando ainda mais, que o leitor fosse capacitado a realizar uma apreciação ética que ultrapassasse o limitado cálculo entre perdas e ganhos. Ao discutirmos riscos à saúde e a possibilidade

---

<sup>7</sup> Este acidente, ocorrido em 1979, foi causado pela fusão parcial em um reator da usina nuclear de Three Mile Island, localizada no estado da Pensilvânia, nos Estados Unidos.

<sup>8</sup> Acidente ocorrido em 1986 na usina nuclear de Chernobyl, localizada na cidade de Pripyat (então parte da República Socialista Soviética da Ucrânia e hoje parte da Ucrânia). A explosão de um de seus reatores liberou grande quantidade de materiais radioativos na atmosfera. Áreas significativas da Bielorrússia, da Ucrânia e da Rússia foram afetadas e, também, países da Europa Ocidental. Além das mortes de trabalhadores da usina e bombeiros encarregados do combate ao incêndio causado pela explosão, há vítimas, até hoje sendo contabilizadas, em virtude da contaminação pela radiação – notadamente, casos de câncer.

<sup>9</sup> O desastre da Central Nuclear de Fukushima I aconteceu em 11 de março de 2011 e foi resultado do terremoto e do *tsunami* que devastaram parte do Japão nessa data. Além da liberação de material radioativo na atmosfera, ocorreu a contaminação de águas do Oceano Pacífico.

de impactos ao meio ambiente, não cabe criar uma equação definindo se aqui ganhamos mais e ali perdemos menos. Certas situações engendram absurdos éticos, pois os resultados de acidentes e situações imprevistas são catastróficos. O uso de energia nuclear em Chernobyl resultou em zonas de quarentena que ainda durarão por tempo indeterminado. A venda de modernas armas de assalto a cidadãos comuns, a pretexto de “defesa pessoal”, tem resultado em periódicas tragédias, com dezenas de mortos. E a produção de armas químicas, biológicas e nucleares, longe de garantir a segurança de países, apenas reforça a necessidade de vigilância global contra situações que podem fugir ao controle dos Estados Nacionais.

Mas não se trata, em sentido contrário, de abraçar uma leitura catastrofista do avanço tecnológico, tampouco de se comparar as nanotecnologias a armas de destruição em massa, mas sim de reforçar que é fundamental a utilização do princípio de precaução no que diz respeito ao desenvolvimento de novas aplicações industriais e à comercialização de novos produtos. Qualquer cidadão, em uma sociedade democrática, deve ter a segurança de que os produtos colocados à sua disposição foram suficientemente avaliados quanto à toxicidade e aos potenciais riscos à saúde e ao ambiente. Além disso, tais itens devem ser produzidos de forma segura e em ambientes livres de risco para os trabalhadores. E a sociedade deve ter o direito à rotulagem desses produtos, tal qual acontece com transgênicos, para que, mesmo cumprido tal arcabouço já citado, ainda possa ser feita a escolha entre a marca que utiliza processos convencionais ou aquela que faz uso de nanotecnologias.

O resumo dessas discussões, somado ao debate no grupo da Fundacentro e à revisão bibliográfica realizada, aparece, ainda que de forma resumida, nos gibis já produzidos. Vale comentar que se nota certo esforço editorial para a popularização das nanotecnologias – levando em conta, evidentemente, as grandes limitações do mercado de divulgação científica no Brasil. Nesse sentido, três obras foram muito utilizadas: *O mundo nanométrico: a dimensão do novo século* (TOMA, 2004), *Nanociências: a revolução do invisível* (JOACHIM & PLÉVERT, 2009) e *A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos* (SCHULZ, 2009). Essas foram leituras importantes para uma melhor precisão conceitual sobre o tema. Não obstante, em maior ou menor grau, a depender da publicação, nota-se a repetição do problema: otimismo quanto ao potencial da inovação e menor profundidade nas reflexões de cunho ético.

## *Referências*

- EISNER, W. **Quadrinhos e arte sequencial**. São Paulo: Martins Fontes, 1989.
- MARX, K. **O capital – livro 1**. São Paulo: Boitempo Editorial, 2003.
- MCCLLOUD, S. **Desvendando os quadrinhos: história, criação, desenho, animação, roteiro**. São Paulo: M. Books, 2004.
- JOACHIM, C.; PLÉVERT, L. **Nanociências: a revolução do invisível**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2009.
- SATRAPI, M. **Persépolis**. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.
- SCHULZ, P. **A encruzilhada da nanotecnologia: inovação, tecnologia e riscos**. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2009.
- SPIEGELMAN, A. **Maus: a história de um sobrevivente**. São Paulo: Companhia das Letras, 2009.
- TOMA, H. E. **O mundo nanométrico: a dimensão do novo século**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.





Capítulo III

**ALGUMAS AÇÕES  
GOVERNAMENTAIS  
NA INTERFACE DAS  
NANOTECNOLOGIAS COM  
A SEGURANÇA E SAÚDE  
NO TRABALHO**





## *Apresentação*

*Luís Renato Balbão Andrade*

Em que pese o fato da maioria das pesquisas em nosso país ser custeada com recursos públicos e destes mesmos recursos serem cada vez mais escassos, dificultando o acúmulo de conhecimento e sua divulgação inclusive em relação aos impactos das nanotecnologias sobre o mundo do trabalho, especialmente quanto à segurança e à saúde dos trabalhadores envolvidos com o tema, algumas ações governamentais têm sido empreendidas nesse sentido.

Assim, este capítulo se propõe a discorrer brevemente sobre duas destas iniciativas: o Fórum de Competitividade em Nanotecnologia e o Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN). Ambas as atividades se encontravam desativadas no momento em que esta publicação foi composta (2016). Importante destacar que o fato de abordarmos apenas o Fórum de Competitividade e o Comitê Interministerial de Nanotecnologia não significa que tenham sido estas as únicas iniciativas governamentais na área. Foram somente consideradas mais relevantes para o contexto deste volume, além de contarem com autores que também participaram das atividades mencionadas. Completando o capítulo, Dr. Paulo Martins oferece ao leitor instigantes reflexões no texto *Nanotecnologia no Brasil do século XXI: desenvolvimento para que e para quem?*, em que o papel das ações governamentais no campo dos impactos das nanotecnologias sobre questões do mundo do trabalho é questionado.



## ***O Fórum de Competitividade em Nanotecnologia e o Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN)***

*Wilson Engelmann e Luís Renato Balbão Andrade*

O Fórum de Competitividade de Nanotecnologia foi inaugurado no dia 23 de novembro de 2009, a partir da iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, buscando ser uma ferramenta estratégica para apoiar a discussão e o encaminhamento de iniciativas e programas do segmento nanotecnológico. Seu principal objetivo foi aumentar a competitividade do Brasil no mercado mundial por meio da articulação entre as necessidades do setor privado – formado por representantes do meio empresarial e dos trabalhadores –, do setor governamental e da academia. O Fórum buscava explicitar o consenso em torno de oportunidades e desafios, definindo metas e ações voltadas para uma nova política industrial de desenvolvimento da produção.

A criação do Fórum estava voltada à preparação do caminho estratégico do Brasil, por meio da abordagem de questões e demandas relativamente novas, além de apresentar imenso potencial de crescimento, tornando-se fundamental para oferecer ao país condições de competitividade na “Revolução Tecnológica” que se anuncia. Buscava ser um espaço de interação construído com base em um diálogo profícuo e estimulante, onde todos os atores interessados poderiam dar sua contribuição de modo que as resoluções e determinações emanadas materializassem-se em Políticas Públicas consistentes e aptas a viabilizar a consolidação de um setor de tamanha relevância no cenário econômico e tecnológico do país (MDIC, 2016). Os participantes do Fórum estavam agrupados nos seguintes Grupos de Trabalho: GT de Mercado; GT de Marco Regulatório; GT de Cooperação Internacional; e GT de Recursos Humanos.

A I Reunião Plenária, realizada em 23 de novembro de 2009, na sede do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, de instalação do Fórum de Competitividade, sinalizava para a concretização dos objetivos da Política de Desenvolvimento Produtivo,

que destacou a nanotecnologia como programa mobilizador em área estratégica. Realizaram-se diversos outros encontros, especialmente ao longo do ano de 2010. Em 27 de julho de 2010, realizou-se a II Reunião Plenária, na sede do Banco Nacional de Desenvolvimento Social e Econômico (BNDES), no Rio de Janeiro, em que dois GTs – Marco Regulatório e Mercado – apresentaram relatório das atividades<sup>10</sup> realizadas entre novembro de 2009 e junho de 2010, incluindo diagnóstico, desafios e recomendações para o cenário das nanotecnologias no Brasil e no mundo. Neste mesmo ano de 2010, nos dias 2 e 3 de dezembro, realizou-se, na Fiesp, o *workshop* denominado *Nanotecnologias: expectativas da Indústria Brasileira*.

O ano de 2011 representou o alargamento das atividades do Fórum, com a formação de um grupo especial para acompanhar as discussões e votações na ISO TC 229, que cuida de variadas interfaces das nanotecnologias. O Brasil é representado junto à ISO pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). No entanto, ultimamente a participação se reduzia à abstenção nas votações, dada a ausência de contribuições efetivas na matéria. Por isso, a criação desse grupo especial se mostrou estratégico, viabilizando efetiva participação e votação nas decisões sobre a normalização, que eram desenvolvidas no Comitê Técnico 229, da ISO. Instalaram-se, também, o Núcleo Empresarial e a aproximação com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). No dia 3 de outubro de 2011, organizou-se um segundo evento: o *workshop Nanotecnologias: da ciência ao mundo dos negócios*, em São Bernardo do Campo (SP).

Em 2012, realizaram-se as duas últimas reuniões do Fórum: a primeira, em abril, na sede da Abiplast, em São Paulo; e a segunda, em outubro, na sede do INT, no Rio de Janeiro. A partir daí, as atividades do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia foram descontinuadas<sup>11</sup>. Com o encerramento, também ficou novamente prejudicada a participação qualificada do Brasil nas deliberações da ISO.

---

<sup>10</sup> [http://www.comexresponde.gov.br/portalmDic//arquivos/dwnl\\_1283373738.pdf](http://www.comexresponde.gov.br/portalmDic//arquivos/dwnl_1283373738.pdf). Acesso em: 24 jun. 2021

<sup>11</sup> Os registros de cada uma das reuniões podem ser consultados em: <http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=3&menu=2470&refr=2469>. Acesso em: 20 jul. 2016.

## *Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN)*

O Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN), de certa forma, pode ser considerado como um “sucessor” do Fórum de Competitividade em Nanotecnologia, na medida em que absorveu parte de suas representações e ampliou suas discussões para outros Ministérios na esfera federal. O CIN foi instituído pela Portaria Interministerial nº 510, de 9 de julho de 2012, com a finalidade de assessorar os Ministérios, representados no Comitê, na integração da gestão e na coordenação, bem como no aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para o desenvolvimento das nanotecnologias no país, cabendo-lhe, em especial:

- Propor mecanismos de integração da gestão e da coordenação das atividades relacionadas às nanotecnologias;
- Propor a criação de mecanismos de planejamento, implementação, acompanhamento e avaliação das atividades relacionadas às nanotecnologias;
- Formular recomendações de planos, programas, metas, ações e projetos integrados para a consolidação e evolução das nanotecnologias no país, indicando potenciais fontes de financiamento; e
- Indicar os recursos financeiros necessários, destinados a apoiar projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I), em nível nacional ou internacional, quando envolver cooperação bilateral ou multilateral em nanotecnologias (MCTI, 2016).

Atualmente, o CIN é composto por Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) que exerce a coordenação do Comitê, Ministério do Meio Ambiente (MMA), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), Ministério da Defesa (MD), Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), Ministério da Educação (MEC), Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério da Saúde (MS). Participam, como convidados, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a Agência Nacional de Vigilância

Sanitária (Anvisa), o Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), a Confederação Nacional da Indústria (CNI) e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep). O Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e o Ministério das Relações Exteriores (MRE) também participam do CIN como membros convidados, mas, diante da sinergia da nanotecnologia com as pastas desses Ministérios, foi solicitada a inclusão deles como membros efetivos do CIN (MCTI, 2016). Até o momento da finalização deste texto (julho de 2016), a referida inclusão destes outros dois Ministérios não foi realizada oficialmente (por meio de instrumento legal apropriado), embora o MTE tenha participado das poucas reuniões realizadas.

A constituição inicial do CIN, bem como as instituições convidadas, revela uma clara assimetria de representações, pois não encontramos alusão aos trabalhadores e consumidores, categorias importantes, posto serem diretamente afetadas pelo desenvolvimento, pela disseminação e pelo uso das nanotecnologias. Neste cenário, o MTE propôs que fossem convidados, para integrar o CIN, representantes das Confederações dos Trabalhadores e representantes do Ministério da Justiça, como porta-vozes dos consumidores. A proposição foi aceita e posta em prática.

Duas ações do CIN merecem destaque:

1. O desenvolvimento da Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia (IBN), lançada em 20 de agosto de 2013, que tem como objetivo promover o aumento da competitividade da indústria brasileira, ancorada na nanotecnologia. Um dos seus alicerces é o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (Sisnano), uma rede de 26 laboratórios selecionados a partir de uma chamada pública do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) para receber investimentos prioritários em infraestrutura, de modo a fomentar a pesquisa e o desenvolvimento de nanotecnologias.
2. A adesão ao projeto europeu NanoReg, que trata da regulação internacional em nanotecnologia. Este projeto é coordenado pelo Ministério de Infraestrutura e Meio Ambiente da Holanda. A iniciativa envolve 64 instituições de 16 países europeus, além de Austrália, Canadá, Coreia do Sul, Estados Unidos e Japão.

Lamentavelmente, uma série de circunstâncias (políticas, econômicas etc.) fez com que as atividades do CIN fossem paralisadas. A última reunião ocorreu no início de dezembro de 2014, sendo que, até o momento da conclusão deste texto (julho de 2016, como já colocado), não houve nenhuma sinalização por parte da coordenação do Comitê para a retomada dos trabalhos.





## *Referências*

ENGELMANN, W.; MARTINS, P. S. A ISO, suas normas e estruturação: possíveis interfaces regulatórias. *In*: \_\_\_\_\_(Orgs.). **As normas ISO e as nanotecnologias**: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico. São Leopoldo: Karywa: 2017. p. 75-120.

FÓRUM DE COMPETITIVIDADE EM NANOTECNOLOGIA. Grupo de Trabalho em Mercado. **Relatório de Atividades**: novembro / 2009 a junho / 2010. [S. l.: s. n., 2010?].

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Disponível em: <http://www.mcti.gov.br/comite-interministerial-cin>. Acesso em: em: 8 jul. 2016.

MDIC. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br>. Acesso em: 10 fev. 2021.



# *Nanotecnologia no Brasil do século XXI: desenvolvimento para que e para quem?*<sup>12</sup>

*Paulo Roberto Martins*

## *Introdução*

As nanotecnologias<sup>13</sup> têm sido objeto de ações governamentais e da iniciativa privada, ambas colocando importantes montantes de recursos públicos e privados na produção de novos conhecimentos relativos à ciência da produção (que gera novos saberes relativos a processos e produtos nanotecnológicos) e à ciência dos impactos (aquela que proporciona novas informações sobre os impactos sociais e ambientais, na saúde humana, na ética, na regulação e na governança da nanotecnologia). Neste trabalho, vamos nos ater às ações realizadas pelo governo federal brasileiro, ator central no desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil, indicando as concepções que deram suporte aos diversos editais públicos pelos quais os recursos públicos foram distribuídos para grupos de cientistas que os utilizaram na produção de novos conhecimentos em nanotecnologia.

O presente texto analisa estes dados e apresenta a tese de que os recursos públicos foram apropriados quase que exclusivamente para a produção de conhecimentos relativos à ciência da produção, deixando a ciência dos impactos sem recursos mínimos necessários para a produção de conhecimentos sumamente importantes para um desenvolvimento responsável das nanotecnologias.

---

<sup>12</sup> Nota da editora: A íntegra deste texto foi publicado nos Anais do XXX Congresso de La Asociación Latinoamericana de Sociología, realizado na Costa Rica (MARTINS, 2015).

<sup>13</sup> A nanotecnologia pode ser apresentada em duas formas. Na primeira delas, a tecnologia caracteriza-se por dois aspectos principais: 1) o prefixo “nano”, que é indicador de medida: 1 nano significa a bilionésima parte de um metro, ou seja, 10<sup>-9</sup> metros. Nesse caso, nanotecnologia refere-se somente à escala, e não a objetos; 2) refere-se a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas que, para serem enxergados, requerem microscópios especiais, muito potentes.



## ***Nanopartículas e macropolíticas: por onde vai o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil***

Toda periodização utilizada para determinar quando algo surge na ciência e na tecnologia de um país é problemática por se tratar de um recorte da história. Sempre é possível identificar que a origem de um evento remonta a um período anterior mais comumente admitido.

Também é preciso ressaltar que, quando se apresenta o desenvolvimento de um dado setor econômico ou de uma área de C&T baseada apenas em fontes oficiais, certamente se apresenta parte do todo, ou seja, aquela que reflete apenas a visão oficial sobre o processo de desenvolvimento em questão.

A seguir, relacionamos os principais editais realizados ao longo de 15 anos de atividades do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e de suas agendas de fomento CNPq e Finep, bem como ações do governo ligadas à execução do Plano Plurianual e ao orçamento do governo federal:

1. Edital CNPq de 2001, constituição de quatro redes de pesquisas em nanotecnologia no valor de R\$ 9.800.000,00.
2. Inclusão do “Programa de Desenvolvimento em Nanociência e Nanotecnologia” no Plano Plurianual, de 2004 a 2007 do Governo Federal, programa que tem um aporte financeiro de R\$ 8.400.000,00 de reais para o período de 2004 a 2007. Assim, o tema *Nanociência e nanotecnologia* passa a fazer parte, pela primeira vez, deste instrumento obrigatório de planejamento (Plano Plurianual).
3. Ainda em 2004 o CNPq publicou o Edital nº 13, aberto para pesquisas sobre os impactos sociais, ambientais e éticos da nanotecnologia. Este foi o único edital aberto sobre esta temática até julho de 2013. O valor previsto para este edital foi de R\$ 200.000,00, dos quais foram usados apenas R\$ 125.000,00 não sendo possível identificar até hoje em que foram aplicados os restantes R\$ 75.000,00 não usados neste edital.

4. Edital CNPq 29/2005, que previa a construção de dez redes cooperativas de pesquisas (em substituição às quatro redes decorrentes do Edital CNPq 01/2001) que apresentaram uma demanda de R\$ 27,2 milhões de reais em quatro anos (2005–2009).
5. O ponto máximo deste processo foi a constituição dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia, considerados “programas *top* da ciência brasileira”. Isso se deu por meio do Edital 15/2008 do MCT/CNPq/Capes/Fapemig/Faperp/Fapesp, sendo investidos R\$ 270 milhões de reais via governo federal e mais R\$ 135 milhões pelas três fundações estaduais de amparo à pesquisa. Entre os 144 INCT aprovados com recursos públicos federais e estaduais, 16 são relativos à nanotecnologia. Os valores estavam previstos para serem liberados em três parcelas em 2008, 2009 e 2010. Na verdade, isso não ocorreu.
6. No ano de 2011, pela primeira vez foi aberto um edital para a constituição de redes de pesquisas em nanotoxicologia. Como resultado, temos constituídas seis redes, com recursos aproximados de R\$ 1.500.000,00.
7. Um novo edital MCTI/CNPq para Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) foi lançado em 2014, estando os resultados previstos para serem divulgados em março de 2015, segundo previa o edital. No entanto, só foram divulgados em maio/2016. Dado que aos cortes orçamentários ainda estavam em curso em junho/2016, o resultado publicado com a lista dos INCT aprovados não indica os recursos concedidos a cada deles. Assim, a informação aqui apresentada sobre os recursos refere-se ao que está estabelecido na chamada INCT MCTI/CNPq/Capes/Fapes nº 16/2014. Nesse edital, estão previstos recursos de R\$ 641.700.000,00, sendo R\$ 341.700.000,00 das fundações estaduais de amparo a pesquisas e outros R\$ 300.000.000,00 do governo federal (CNPq/Capes/Fundos Setoriais). A caixa preta do edital não foi aberta ao público até o fim de julho/2016. Portanto, ainda não sabemos o valor real concedido na aprovação destes INCT.

A seguir, vamos apresentar uma síntese dos objetivos dos diversos editais aqui apresentados e analisados. Isso nos dará elementos para analisar as concepções que consubstanciam essa política pública em nanotecnologia no Brasil. Os objetivos são os seguintes:

1. Incrementar o desenvolvimento científico e tecnológico;
2. Incrementar a competitividade internacional da ciência, da tecnologia e da inovação brasileira;
3. Desenvolvimento regional igualitário;
4. Integração entre centro de pesquisas e empresas públicas e privadas;
5. Criação de empregos qualificados;
6. Incrementar o nível tecnológico da indústria brasileira;
7. Incrementar o desenvolvimento econômico brasileiro;
8. Criação de empregos qualificados;
9. Incrementar o nível tecnológico da indústria brasileira;
10. Incrementar o desenvolvimento econômico brasileiro.

Esses objetivos estão devidamente alicerçados no discurso do presidente Lula, proferido em Campinas/SP, no dia 18 de agosto de 2005 por ocasião da instituição do Programa Brasileiro de Nanociência e Nanotecnologia. Os pontos centrais deste discurso são os seguintes:

1. O Brasil necessita exportar conhecimentos;
2. A inovação tecnológica é a base para o novo Brasil que queremos para o futuro;
3. O Brasil é um país desigual. Ao mesmo tempo, tem lugares na primeira e na terceira revoluções industriais;
4. A comunidade científica necessita ser a responsável pelas decisões de pesquisa;
5. Ciência e tecnologia são ferramentas essenciais para o de-



envolvimento econômico e social e são prioridades dos governos;

6. O melhor investimento é colocar dinheiro em ciência, tecnologia e educação;
7. Há a necessidade de incrementar a conexão entre universidades e empresas;
8. O programa de nanotecnologia é parte da política industrial, tecnológica e de comércio exterior;
9. Poder é igual a conhecimento científico e tecnológico;
10. O poder é a melhor forma de olhar para a justiça social.

As análises realizadas dos relatórios finais das redes de nanotecnologia existentes 2001-2004 (quatro redes) e 2005-2009 (10 redes) indicam um investimento de recursos públicos quase que exclusivamente na produção de conhecimentos relativos à ciência da produção. Entre as redes aprovadas nos editais públicos, não havia nenhuma que colocasse como seu objetivo produzir conhecimento no campo das ciências dos impactos.

Há algumas razões para este tipo de concepções/ações por parte do governo federal brasileiro. Em primeiro lugar, existe uma ideologia dominante nos *policy-makers* do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) – que, em geral, são membros da comunidade científica e, especialmente no caso brasileiro, são os físicos – de que a equação linear indicada adiante é a que vai “solucionar” os problemas do Brasil. Esta concepção também permeia os diversos editais que apresentamos no tópico anterior.

**Inovação = + competitividade = + mercado**  
**= + crescimento = + desenvolvimento = +**  
**qualidade de vida.**

A partir de uma utilização acrítica desta equação linear, as decisões tomadas por estes *policy-markers* sobre onde colocar os recursos

públicos têm sido no sentido de colocá-los na “cesta” da ciência da produção para que as incertezas presentes no universo da produção possam ser minimizadas.

Em segundo lugar, a maioria dos nanotecnólogos brasileiros acredita na “ciência neutra”. Portanto, eles estão a trabalhar para o bem da humanidade e não pelos interesses de uma tecnociência em constante crescimento em nossa sociedade.

Em terceiro lugar, não há qualquer participação pública e/ou controle público sobre a aplicação de recursos públicos realizados pelo MCTI.

Em quarto, a comunidade científica brasileira tem como paradigma de que “só quem entende de nanotecnologia pode decidir sobre nanotecnologia”. Na medida em que os nanotecnólogos brasileiros não fazem o trabalho de informar e discutir nanotecnologia com o público não especialista. Logo, este público nunca vai entender deste assunto. Portanto, nunca irá participar destas decisões de onde colocar os recursos públicos e que tipo de conhecimentos produzir com estes.

Em quinto lugar, o público não especialista, em especial os trabalhadores e suas instituições representativas e de assessorias, não tem claro o quanto esta apropriação quase que exclusiva para a produção de conhecimentos no campo da ciência da produção pode impactar sua vida pessoal, profissional, social, ambiental. Por fim, as ciências humanas ainda não têm as nanotecnologias como um de seus objetos de investigação científica consagrados, a exemplo dos problemas urbanos.

O mesmo se aplica aos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT), em que os conhecimentos produzidos sobre a área da ciência da produção serão extremamente maiores (em quantidade) do que aqueles para a área de ciências dos impactos que, também nos casos dos INCT, deverá ser marginal.



## ***Conclusões preliminares: para que e para quem***

O contexto em que se dá o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil e no mundo ocidental é o de uma sociedade marcada por conflitos e interesses econômicos e sociais divergentes. Como ocorre no capitalismo, os impactos coletivos de qualquer inovação tecnológica estão em disputa. Significa dizer que nem a ciência nem a tecnologia são neutras, e que suas possíveis aplicações serão apropriadas por grupos e classes sociais distintas, a depender do processo político e social.

A visão hegemônica existente entre os cientistas sobre seu trabalho diferencia a ciência básica da aplicada, ressaltando o caráter neutro da produção do conhecimento científico (ciência básica). Contudo, existe o conceito de tecnociência que atrela todo o conhecimento científico à produção de mercadorias. Se, por um lado, essa visão responsabiliza os cientistas por suas descobertas, por outro, aproxima-os intensamente dos interesses de grandes grupos econômicos. Este conceito, portanto, vincula à pesquisa uma finalidade exclusiva, que é a produção de mercadorias mais atrativas para serem comercializadas, e não o aumento do conhecimento. Portanto, concordamos com Edgard Morin que afirma:

*A ciência produziu uma extraordinária potência associando-se cada vez mais estreitamente com a técnica, cujos desenvolvimentos ininterruptos impressionam de maneira ininterrupta a economia. Todos esses progressos ligados transformam em profundidade as sociedades. Assim, a ciência é onipresente, com interações-retrações incontáveis em todos os campos, criadoras de poderes gigantescos e totalmente impotentes para controlá-los. O vínculo ciência/técnica/sociedade/política é evidente. A época em que juízos de valores não podiam interferir na atividade científica está encerrada. (MORIN, 2005. p. 71)*

Em síntese, podemos concluir que o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil do século XXI foi concebido e viabilizado por ações governamentais que utilizaram recursos públicos pensando exclusivamente sobre a produção de conhecimentos relativos à ciência da produção. Assim, visou, em última instância, a inserção do Brasil,

de sua comunidade acadêmica voltada a nanotecnologia, de seu processo de industrialização, aos ditames do desenvolvimento da tecnociência globalizada, capitaneada pelo sistema financeiro mundial que concentra os recursos públicos para viabilizar a produção de novos conhecimentos aplicados à produção de novas mercadorias que asseguram a reprodução do capital.

## *Referências*

ICTA. International Center for Technology Assessment. **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**. Washington: ICTA, 2012.

IIEP. Informações, Intercâmbio, Estudos e Pesquisas. **Guia de nanotecnologia para trabalhadores**. São Paulo: IIEP, 2015.

MARTINS, P. R. Nanotecnologia no Brasil do séc. XXI: desenvolvimento para que e para quem? *In*: CONGRESSO DE LA ASOCIACIÓN LATINO AMERICANA DE SOCIOLOGIA, 30., 2015, Costa Rica. **Acta Académica – Memória de Ponencias**. Costa Rica: ALAS, 2016. Disponível em: <http://sociologia-alas.org/congreso-xxx/ponencias/>. Acesso em: 10 maio 2019.

MARTINS, P. R. (Coord.); PREMEBIDA, A.; DULLEY, R. D.; BRAGA, R. **Revolução invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil**. São Paulo: Xamã, 2007.

MARTINS, P.R.; Braga, R. A tecnociência financeirizada: dilemas e riscos da nanotecnologia. **Universidade e Sociedade**, v. 17, n. 40, p. 139-147, jul. 2007.

MARTINS, P. R.; QUARESMA, A. Nanopartículas e macropolíticas: uma crítica ao modelo brasileiro. **Revista Sociologia**, n. 49, p. 64-75, out./nov. 2013.

MORIN, E. **O método 6: - ética**. 2. ed. Trad. Juremir Machado de Assis Porto Alegre: Sulina, 2005. p. 71.

SILVA, T.E.M.; WAISSMANN, W. **Nanotecnologias, alimentação e Biocombustíveis: um olhar transdisciplinar**. Aracaju: Criação, 2014.



The background of the page is an abstract, artistic composition of light trails. On the left side, there is a bright, glowing orange and yellow arc that curves downwards. On the right side, there are several concentric, glowing purple and blue arcs that curve upwards. The overall effect is dynamic and futuristic, suggesting motion and energy.

Capítulo IV

**NANOTECNOLOGIAS E  
AÇÕES SINDICAIS**





## ***Incorporação de progresso técnico, negociação coletiva e formação sindical: análise de uma experiência com nanotecnologias no Brasil***

*Thomaz Ferreira Jensen*

Na última década do século XX, o sindicalismo global se viu diante de desafios tremendos: da emergência da financeirização como padrão de valorização do capital e de dinâmica do capitalismo, à transição da União Soviética à Rússia capitalista, passando pela reorganização produtiva e gerencial que introduziu no mundo do trabalho a remuneração variável, a jornada flexível e a terceirização.

No Brasil, as respostas organizativas e de projeto sindical foram diversas, especialmente em relação à introdução de progresso técnico nas indústrias. No geral, pautaram-se por termos e condições colocados pela iniciativa das corporações industriais, com negociações coletivas que, na maioria das vezes, não interferiram no ritmo e na intensidade das novas tecnologias que alteraram o padrão produtivo industrial no país.

Os debates acerca da concepção de educação no sindicalismo brasileiro ganham relevância já no final da década de 1960, em um contexto marcado por crescente discussão relativa à educação no Brasil e na América Latina, a partir de reflexões sobre a *práxis* educativa e sua relação com os dilemas da construção da nação no capitalismo dependente, ou seja, as conexões fundamentais entre subdesenvolvimento e dependência.

Ocorre uma significativa alteração na concepção e nas referências da formação sindical ao longo da virada do século XX para o XXI no Brasil. Nesses anos, que consolidaram a inserção do país na nova ordem neoliberal global, a formação sindical foi essencialmente atrelada a financiamentos governamentais que tinham como projeto político apenas a requalificação profissional dos trabalhadores, para moldá-los às exigências de locais de trabalho (fábricas, escritórios, comércios...) que se reconfiguravam aceleradamente pela reestruturação produtiva e gerencial.

Ou seja, eram processos formativos atrelados à concepção neoliberal predominante à época. Muitas entidades sindicais de trabalhadores assumiram como concepção de formação o reles adestramento dos trabalhadores aos ditames de um capitalismo dependente que perdia a indústria como centro dinâmico e deslocava-a para o setor de serviços as oportunidades de ocupação surgidas dessa nova onda de modernização conservadora de padrões de consumo (internet, celula, etc.).

Os principais programas de formação sindical entre 1995 e 2010 são, de fato, processos de capacitação para moldar dirigentes sindicais e seus assessores para negociação em limites estreitos de pequenas compensações aos trabalhadores diante da avalanche de novas e flexibilizadas formas de uso da força de trabalho pelo capital. A definição dos rumos estratégicos do país seguia restrita ao pequeno comitê de grandes corporações, muitas das quais estrangeiras, e sequer obedeciam as regras das boas práticas de diálogo social e concessões de contrapartidas, tão caras ao *marketing* da capacitação sindical dos anos 1990 e 2000.

O que queremos ressaltar neste artigo, entretanto, é uma notável exceção. A ação sindical em relação às nanotecnologias é exemplar dos desafios colocados aos trabalhadores e a seus sindicatos pelo mercado de trabalho brasileiro, marcado por heterogeneidades estruturais decorrentes do subdesenvolvimento e da dependência externa que ainda conformam a economia brasileira. Notável pelo aspecto da negociação coletiva e dos processos formativos associados a essa ação sindical pioneira.

Ao mesmo tempo em que é urgente atuar para alterar ambientes de trabalho precários e insalubres, com maquinário e processos de trabalho obsoletos, que geram mortes e adoecimentos, é necessário incorporar na agenda sindical os riscos emergentes potencialmente associados à introdução de novas tecnologias nos processos produtivos.

As nanotecnologias são a fronteira destas inovações na indústria em escala mundial. A partir de pesquisas científicas que remontam à década de 1970, as primeiras inovações tecnológicas que permitiram a incorporação de nanotecnologias na atividade industrial já são encontradas nas principais corporações químicas, farmacêuticas e eletrônicas no final da década de 1980. A introdução de nanotecnologias potencializa a criação de novas moléculas e, portanto, novos produtos e aplicações pela indústria.

Ainda são, de fato, pouco conhecidos os efeitos biológicos da nanotecnologia sobre o meio ambiente e o comportamento humano, gerando preocupação quanto aos riscos e aos danos. Um forte motivo para a sociedade abrir amplo debate sobre o assunto, em especial para os trabalhadores diretamente ligados à pesquisa e à produção industrial. Na linha de frente da exposição às nanotecnologias estão os trabalhadores em laboratórios de pesquisas, os primeiros a serem expostos a estes novos materiais. Sendo assim, vários trabalhos internacionais já têm abordado o tema da segurança e saúde nestes ambientes (NIOSH, 2012)

As tabelas a seguir apresentam uma estimativa do número de trabalhadores na indústria química paulista potencialmente expostos às nanotecnologias. Com base na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do Ministério do Trabalho e Emprego, em 2017, eram cerca de 25 mil trabalhadores atuando em atividades de pesquisa em laboratórios na indústria química instalada no Estado de São Paulo, cerca de 7,2% do total de trabalhadores químicos no Estado.

**Tabela 1.** Trabalhadores na indústria química no Estado de São Paulo, segundo ocupação, em 2017

Ocupações (CBO 2002) - Agregações dos principais subgrupos	Indústria Química SP		
	Homens	Mulheres	Total
MEMBROS SUPERIORES DO PODER PÚBLICO, DIRIGENTES DE ORGANIZAÇÕES DE INTERESSE PÚBLICO	12.897	6.527	19.424
PROFISSIONAIS DAS CIÊNCIAS E DAS ARTES	17.896	7.398	25.294
PESQUISADORES E PROFISSIONAIS POLICIENTÍFICOS	559	604	1.163
PROFISSIONAIS DAS CIÊNCIAS EXATAS, FÍSICAS E DA ENGENHARIA	4.325	1.767	6.092
PROFISSIONAIS DAS CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, DA SAÚDE E AFINS	1.724	2.012	3.736
TÉCNICOS POLIVALENTES	1.413	750	2.163
			(...)

(...)

<b>Ocupações (CBO 2002) - Agregações dos principais subgrupos</b>	<b>Indústria Química SP</b>		
	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>	<b>Total</b>
TÉCNICOS DE NÍVEL MÉDIO DAS CIÊNCIAS FÍSICAS, QUÍMICAS, ENGENHARIA E AFINS	9.344	1.888	11.232
TÉCNICOS DE NÍVEL MÉDIO DAS CIÊNCIAS BIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, DA SAÚDE E AFINS	531	377	908
TÉCNICOS DE NÍVEL MÉDIO	32.609	18.691	51.300
TRABALHADORES DE SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS	22.604	17.492	40.096
TRABALHADORES DOS SERVIÇOS, VENDEDORES DO COMÉRCIO EM LOJAS E MERCADOS	10.843	9.698	20.541
TRABALHADORES AGROPECUÁRIOS, FLORESTAIS E DA PESCA	510	191	701
TRABALHADORES DA PRODUÇÃO DE BENS E SERVIÇOS INDUSTRIAIS	118.823	39.343	158.166
TRABALHADORES EM SERVIÇOS DE REPARAÇÃO E MANUTENÇÃO	9.363	270	9.633
<b>Total</b>	<b>243.441</b>	<b>107.008</b>	<b>350.449</b>

Fonte: Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Secretaria Especial de Previdência e Trabalho

Elaboração: DIEESE SS CNQ FETQUIM

Estes trabalhadores são aqueles que, hoje, devem já estar em contato com a manipulação de nanopartícula, visando à produção, mas há que se considerar que outros mais de 158 mil trabalhadores nas linhas de produção também podem estar expostos às nanotecnologias, sem ao menos saber disso.

A introdução das nanotecnologias em processos produtivos vem ocorrendo principalmente nos países centrais do capitalismo, em que estão sediadas as matrizes das corporações transnacionais. Nos países da periferia, como o Brasil, as nanotecnologias, muitas vezes, podem

estar sendo incorporadas aos processos produtivos das filiais destas corporações aqui instaladas, em uma relação inter-firma que escapa totalmente ao controle público, seja da sociedade, seja dos órgãos do Estado que deveriam se encarregar desta regulação.

Informações mais recentes dão conta de que, no Brasil, são cerca de 200 empresas envolvidas com projetos e desenvolvimento de produtos em nanotecnologia, interagindo com o setor acadêmico e utilizando recursos públicos para pesquisa (como CNPq, Finep, BNDES). Cerca de 54 destas empresas estão localizadas no Estado de São Paulo, sobretudo nas indústrias químicas, que envolvem as de materiais médicos, as farmacêuticas e de cosméticos INVERNIZZI, 2011. Entre estas, para citar apenas as mais importantes dos setores químicos e farmacêutico, temos: Akzo Nobel, Artecola, Basf, Biolab, Braskem, Dow, Elekeiroz, Eurofarma, L'oreal, Lanxess, Luckscolor, Natura, Oxiteno, Petrobras e Rhodia.

É fato que um tema ganha relevância sindical quando entra para a pauta reivindicatória em uma negociação de data-base. Esta é uma das características do mundo do trabalho no Brasil. E são milhares de cláusulas específicas sobre saúde e segurança no ambiente de trabalho, como atesta, por exemplo, estudo do Dieese (2015, produzido a partir do Sistema de Acompanhamento das Contratações Coletivas (Sacc-Dieese), que pesquisa acordos, convenções coletivas e sentenças normativas da Justiça do Trabalho, e que identificou, entre 2010 a 2012, mais de nove mil cláusulas específicas de saúde e segurança, entre mais de 46 mil cláusulas no total.

As nanotecnologias começam a ser debatidas pelo movimento sindical brasileiro a partir de 2005, mas ainda em esferas restritas de congressos e seminários. As primeiras atividades de debate sobre o tema foram propostas por entidades sindicais que representam trabalhadores na indústria da alimentação.

No ramo químico, especificamente, o tema aparece pela primeira vez no V Congresso da CNQ-CUT (Confederação Nacional do Ramo Químico da CUT), realizado em junho de 2007, em que se definiu pela necessidade de ampliar o debate relativo ao tema, objetivando saber quais os reais impactos das nanotecnologias para os trabalhadores e para a sociedade.

Em agosto de 2008, o Sindicato dos Químicos do ABC realizou seminário sobre o tema, em parceria com o Dieese, o Diesat e a Fundacentro. Este encontro intensificou o engajamento da categoria na ampla mobilização social que busca colocar na ordem do dia o debate quanto à necessidade de pesquisas públicas sobre os possíveis efeitos da nanotecnologia para a sociedade em geral e, especialmente, para os trabalhadores que podem já estar expostos a materiais nanoestruturados em processos produtivos, sem ao menos terem informações relativas aos materiais que manipulam.

Marco decisivo para a difusão das nanotecnologias enquanto tema de preocupação sindical no Brasil, foi a divulgação de nota técnica do Dieese, em outubro de 2008 (DIEESE, 2008)

A primeira inclusão das nanotecnologias como item de pauta reivindicatória no movimento sindical brasileiro foi feita pela então recém-criada Federação dos Trabalhadores do Ramo Químico da CUT no Estado de São Paulo (Fetquim-CUT), que reivindicou a inclusão de cláusula específica sobre nanotecnologia na Convenção Coletiva do Ramo Químico. A ideia original foi conquistar a inclusão do tema na convenção em uma redação circunscrita ao âmbito da “informação”, se possível em uma cláusula nova intitulada “Nanotecnologia”. A proposta apresentada às representações patronais foi a seguinte:

#### *NANOTECNOLOGIA*

*A empresa deve informar os membros da Cipa e ao Sindicato sobre a introdução de materiais nanoestruturados em seus processos produtivos, disponibilizando informação sobre os possíveis riscos à saúde dos trabalhadores e as medidas de proteção adotadas.*

No limite, segundo a estratégia de negociação, seria aceitável a inclusão desse parágrafo na cláusula 36 da convenção vigente, que trata das Comissões Internas de Prevenção de Acidentes e da Semana Interna de Prevenção de Acidentes (Cipa/Sipat). O objetivo da negociação era adicionar o tema à convenção, no sentido de garantir aos membros da Cipa o efetivo direito à informação sobre a presença de materiais nanoestruturados nos processos produtivos.

Por conta da intransigência patronal, o que se logrou foi incluir o tema como recomendação para as Cipas abordarem com os trabalhadores nas (Sipat). A partir desta inclusão, coube aos sindicatos e à Fetquim organizarem processos formativos que contribuíram para que os trabalhadores e os membros das Cipas efetivassem esta recomendação, o que abriu importantes brechas para coleta de informações em empresas da indústria química que já adotam nanotecnologias e acumulou força para a histórica conquista que se seguiria.

A formação é uma ação da política sindical que deve visar à conscientização dos trabalhadores e à ampliação do número de quadros mobilizados para defender e fazer avançar o projeto político do sindicato. O ato político primeiro é a definição precisa do projeto político estratégico, de médio a longo prazos, e a decorrente definição dos potenciais aliados, dos reais inimigos, a medição de suas forças, a eficaz análise de conjuntura. A formação sindical conseqüente insere-se como método de engajamento à ação coletiva na efetivação desse projeto político estratégico.

No caso aqui analisado, a ação estratégica consistia na negociação coletiva de cláusula específica sobre informação quanto à incorporação de determinado progresso técnico na atividade industrial química, qual seja, a nanotecnologia.

É basilar que o processo de formação assuma como ponto de partida a escuta dos trabalhadores e um projeto político estratégico da entidade sindical. O essencial é compreender a visão de mundo dos trabalhadores. É fundamental para as entidades a ampliação dos espaços de escuta dos trabalhadores e dos estudos da realidade, com sério investimento em formação de dirigentes e ativistas sindicais. Sem isso, não será possível entender a situação, prospectar possibilidades de futuro e, principalmente, ter potencial para criar propostas, estratégias e iniciativas.

A criação de métodos para essa escuta estratégica dos trabalhadores como ponto de partida dos processos de formação sindical é, por si, uma profunda transformação em relação à capacitação feita pelos sindicatos desde os anos 1990, que se assentava, na pior tradição de “educação bancária” criticada por Paulo Freire, em conteúdos depositados nos trabalhadores como capital humano para que se qualificassem aos postos de emprego restantes da reestruturação produtiva.



A compreensão da realidade concreta vai incluir também, esforços adicionais, de dirigentes sindicais e assessorias técnicas comprometida, para delinear quais são as transformações em curso no sistema produtivo, na inovação tecnológica, nas regras do jogo e na propriedade do capital.

É preciso também colocar os trabalhadores em movimento, para que possam atuar nas frentes de transformação. É através de múltiplas ações e lutas, desde o local de trabalho até as grandes manifestações de rua e marchas, que pedagogicamente os trabalhadores poderão também compreender o que está acontecendo, quais são os interesses envolvidos, e potencializarão interesse em aumentar o conhecimento, estudar, para dar respostas criativas e se tornarem protagonistas capazes de dar novos sentidos para as mudanças que impactarão a vida de todos.

A partir de um projeto estratégico bem definido, de um processo formativo que principia com a escuta dos trabalhadores, o sindicato que se busca educador vai ter os elementos para construir um programa formativo permanente, crítico, democrático, mobilizado e que leve a conquistas, como o caso aqui relatado.

Em abril de 2012, a negociação coletiva entre a Fetquim e os empresários da indústria farmacêutica no Estado de São Paulo resultou em avanço histórico no âmbito da saúde do trabalhador. O termo aditivo à Convenção Coletiva de Trabalho assinado em 19 de abril entre a Fetquim e o Sindicato da Indústria de Produtos Farmacêuticos no Estado de São Paulo (Sindusfarma) registra, pela primeira vez na história do sindicalismo brasileiro – e, possivelmente, mundial – uma cláusula específica sobre nanotecnologias.

A Fetquim apresentou ao Sindusfarma reivindicação específica quanto ao direito à informação sobre nanotecnologia, pela primeira vez, em abril de 2009. As empresas alegaram que o tema ainda era restrito a poucas empresas no Brasil e que não aceitavam incluir cláusula específica na convenção coletiva. Aceitaram, assim como havia acontecido no ano anterior com as demais indústrias químicas, apenas incluir o tema como recomendação às Sipat), o que aconteceu. A partir daí, o movimento sindical intensificou a abordagem do tema em atividades de formação, como cursos com membros de Cipa, e elaborou história em quadrinhos abordando a presença da nanotecnologia nas indústrias

químicas, mostrando as incertezas dos impactos na saúde dos trabalhadores e dos consumidores e no meio-ambiente desta nova tecnologia que as empresas teimam em apresentar como uma maravilha sem riscos<sup>1</sup>.

Ao final da negociação coletiva de 2011, foi criado um grupo de trabalho envolvendo as representações dos trabalhadores na indústria química no Estado de São Paulo e o Sindusfarma para tratar de temas polêmicos não solucionados no processo de negociação coletiva. Entre estes, as nanotecnologias na indústria farmacêutica e os riscos à saúde dos trabalhadores.

Após muitos debates, finalmente o grupo de trabalho bipartite conseguiu uma redação de consenso para a cláusula, introduzida na Convenção Coletiva de Trabalho com o número 69:

*NANOTECNOLOGIA “A empresa garantirá que os membros da Cipa e do Sesmt sejam informados quando da utilização de nanotecnologia no processo industrial. A Cipa, o Sesmt e os trabalhadores terão ainda acesso a informações sobre riscos existentes à sua saúde e as medidas de proteção a adota”.*

É fundamental destacar que esta cláusula tem por objetivo garantir aos trabalhadores nas indústrias farmacêuticas o direito à informação, condição básica para uma ação sindical qualificada. É igualmente relevante destacar que o foco da cláusula para a ação sindical é, primeiramente, a Cipa, ou seja, a organização dos trabalhadores no local de trabalho. O sindicato também tem seu papel destacado, mas em conjunto com a organização no local de trabalho.

Na indústria farmacêutica paulista, são mais de 55 mil trabalhadores abrangidos pela cláusula conquistada, dos quais cerca de 34% em áreas críticas de exposição a nanopartículas, ou seja, em laboratórios e na produção.

---

<sup>1</sup> A história em quadrinhos Nanotecnologias: maravilhas e incertezas no universo da Química é a segunda HQ da série “Nanotecnologia em quadrinhos”, fruto do projeto “Impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e meio ambiente”. O projeto é desenvolvido pela Fundacentro em parceria com Renanosoma, Dieese, Diesat, Iiep, Sindicato dos Químicos do ABC, Sindicato dos Metalúrgicos de Osasco, Instituto Observatório Nacional, Escola Nacional de Saúde Pública da Fiocruz e Cerest-SP. Foi publicada em 2010 pela Fundacentro e tem versões em inglês e espanhol. Todas podem ser encontradas na biblioteca da Fundacentro, em: [http://biblioteca.fundacentro.gov.br/primo-explore/search?vid=FJD&lang=pt\\_BR](http://biblioteca.fundacentro.gov.br/primo-explore/search?vid=FJD&lang=pt_BR)

**Tabela 2.** Trabalhadores na indústria química no Estado de São Paulo, segundo ocupação e segmento produtivo (Químicos de Uso Final e Plásticos), em 2017

Ocupações (CBO 2002) - Agregações dos principais subgrupos	Produtos de limpeza, cosméticos e higiene pessoal								
	Agrotóxicos			Tintas e vernizes					
	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres	Total			
MEMBROS SUPERIORES DO PODER PÚBLICO, DIRIGENTES DE ORGANIZA- ÇÕES DE INTERESSE PÚBLICO	568	169	737	1.195	965	2.160	817	273	1.090
PROFISSIONAIS DAS CIÊNCIAS E DAS ARTES	993	363	1.356	974	1.162	2.136	751	700	1.451
TECNICOS DE NÍVEL MÉDIO	716	233	949	2.947	2.044	4.991	2.623	644	3.267
TRABALHADORES DE SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS	397	268	665	3.197	2.619	5.816	1.670	947	2.617
TRABALHADORES DOS SERVIÇOS, VENDEDORES DO COMÉRCIO EM LOJAS E MERCADOS	148	64	212	1.479	1.939	3.418	561	242	803
TRABALHADORES AGROPECUÁRIOS, FLORESTAIS E DA PÊSCA	61	37	98	29	20	49	11	0	11
TRABALHADORES DA PRODUÇÃO DE BENS E SERVIÇOS INDUSTRIAIS	1.463	193	1.656	12.756	7.947	20.703	6.402	268	6.670
TRABALHADORES EM SERVIÇOS DE REPARAÇÃO E MANUTENÇÃO	135	1	136	1.161	30	1.191	390	5	395
Total	4.481	1.328	5.809	23.738	16.726	40.464	13.225	3.079	16.304

Fonte: Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), Secretaria Especial de Previdência e Trabalho  
Elaboração: DIEESE/SS/CNQ/FETQUIM

Ocupações (CBO 2002) Agregações dos principais subgrupos	Farmacêuticos			Produtos de material plástico		
	Homens	Mulheres	Total	Homens	Mulheres	Total
	MEMBROS SUPERIORES DO PODER PÚBLICO, DIRIGENTES DE ORGANIZAÇÕES DE INTERESSE PÚBLICO	3.444	2.278	5.722	2.875	1.079
PROFISSIONAIS DAS CIÊNCIAS E DAS ARTES	2.643	4.159	6.802	1.635	1.618	3.253
TECNICOS DE NÍVEL MÉDIO	9.105	7.608	16.713	9.057	4.473	13.530
TRABALHADORES DE SERVIÇOS ADMINISTRATIVOS	3.485	3.087	6.572	8.841	6.814	15.655
TRABALHADORES DOS SERVIÇOS, VENDEDORES DO COMÉRCIO EM LOJAS E MERCADOS	3.167	3.171	6.338	3.421	2.961	6.382
TRABALHADORES AGROPECUÁRIOS, FLORESTAIS E DA PESCA	28	3	31	119	56	175
TRABALHADORES DA PRODUÇÃO DE BENS E SERVIÇOS INDUSTRIAIS	7.020	5.091	12.111	65.677	23.709	89.386
TRABALHADORES EM SERVIÇOS DE REPARAÇÃO E MANUTENÇÃO	1.083	30	1.113	3.953	143	4.096
<b>Total</b>	<b>29.975</b>	<b>25.427</b>	<b>55.402</b>	<b>95.578</b>	<b>40.853</b>	<b>136.431</b>

Fonte: Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS), Secretaria Especial de Previdência e Trabalho

Lamentavelmente, esta conquista segue restrita aos trabalhadores nas indústrias farmacêuticas no Estado de São Paulo, dado que as representações patronais dos demais setores industriais químicos (são 12 sindicatos patronais, organizados na Fiesp no chamado CEAG-10, abrangendo da petroquímica à transformação plástica, passando pelos cosméticos, tintas e aditivos) seguem negando o direito básico à informação sobre o uso de nanotecnologias nos processos produtivos nas indústrias químicas. Desde 2008, quando a reivindicação foi apresentada pela primeira vez, até 2019, a última negociação havida, foram sucessivas negativas da patronal química a esta proposta sindical.

É necessário, adicionalmente, desenvolver, através de negociação coletiva e de iniciativas nos âmbitos Executivo, Legislativo e do Ministério Público do Trabalho, outros elementos regulatórios mínimos que orientem a gestão segura das nanotecnologias e dos nanomateriais manufaturados, convergindo para a elaboração de regulação específica pelo Estado das nanotecnologias no Brasil.

Cabe destacar o diálogo com o Ministério Público do Trabalho em São Paulo (MPT-SP), iniciado em maio de 2017, a partir de denúncia anônima sobre não cumprimento de normas de proteção ao trabalhador em processos produtivos incorporando nanotecnologias. Desde então, foram realizadas reuniões envolvendo membros do MPT-SP e entidades de pesquisa, como a Fundacentro, e entidades sindicais, como a Fetquim, que culminaram na realização, em novembro de 2019, do XVI Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente na sede do MPT-SP, contando com a participação de procuradores e tendo entre as instituições organizadoras, além do MPT-SP, a Escola Nacional da Associação Nacional dos Procuradores do Trabalho.

O movimento sindical fez sua parte: estudou a questão a fundo e intensificou a abordagem do tema em atividades de formação, como cursos com membros de Cipa. A persistente negativa patronal à reivindicação por acesso à informação sobre nanotecnologias nos processos produtivos revela, em síntese, pouca informação das empresas em relação às novas tecnologias, nenhuma capacidade de controlar os rumos de incorporação do progresso técnico nas filiais, diante do poder das matrizes transnacionais e, sobretudo, descaso com o direito básico dos trabalhadores que querem saber com o que estão lidando nos locais de trabalho.

Neste contexto, cabe às entidades sindicais se colocarem não apenas como sindicato, mas como movimentos sociais, que vai muito além da negociação de porta de fábrica, buscando ser uma força política de pressão sobre o Estado, lutando por orientações políticas muito mais gerais que alcançam os trabalhadores como um todo. Apesar da fragmentação e da perda de poder dos sindicatos, tão proclamada por aqueles que vêm culpando os sindicatos e a excessiva intervenção do Estado pelo fraco desempenho das economias nos últimos vinte anos, o sindicalismo em movimento vem mostrando sua força em uma nova dimensão, muito mais rica, como movimento social, de contestação da ordem vigente, de não aceitação destas transformações que fragilizam ainda mais o trabalhador – já tão desprotegido em nosso país – como naturais e exteriores à vontade de decisão de nossa Nação, especialmente em um período histórico em que o Estado está completamente submisso às imposições do capital internacional.



## *Referências*

DIEESE. **Nanotecnologia**: conhecer para enfrentar os desafios. Nota Técnica n. 76. 2008. Disponível em: <https://diesat.org.br/2019/03/nanotecnologia-conhecer-para-enfrentar-os-desafios/>. Acesso em: 14 jul. 2016.

DIEESE. A saúde do trabalhador no processo de negociação coletiva no Brasil. **Estudos e Pesquisas**, n. 76, 2015. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2015/estpesq76saudeTrabalhador.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.

INVERNIZZI, N. Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor? **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, n. 6, p. 2249-2268, 2011.

NIOSH. **General safe practices for working with engineered nanomaterials in research laboratories**. Cincinnati: Niosh. 2012. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/pdfs/2012-147.pdf>. Acesso em: 06 jan. 2021.





## ***Nanofetichismo e os trabalhadores: abordagens participativas para questões de saúde ambiental***

*Ana Yara Paulino*

O mundo das nanotecnologias nos deslumbra e assombra. Por isso a primeira história em quadrinhos do grupo de trabalho interdisciplinar e interinstitucional “Nanotecnologia e riscos à saúde dos trabalhadores” teve o subtítulo “O transporte para um novo universo” (PINTO, 2008).

Por um lado, é na nossa vida cotidiana que quase milagres podem e estão acontecendo a todo instante. É o mundo de ficção científica ao nosso alcance. Ao nosso alcance... de todos?

Como acompanhamos no nosso cotidiano, as nanotecnologias vêm se espalhando rapidamente por todas as atividades e para os mais diversos usos, sem controle, como se elas tivessem vida e fossem tomando decisões independentemente de nós humanos. Mas quem e o que está por detrás das nanotecnologias? E por que elas “parecem” sem controle?

Em primeiro lugar, as nanos não estão ao alcance de todos. Os tratamentos médicos avançados usando tecnologias dirigidas não se encontram no Sistema Público de Saúde (SUS), nem nos planos de saúde privados usuais. Os acessos aqui são mediados pelas desigualdades da sociedade capitalista. Então, os trabalhadores perdem essas oportunidades. Por outro lado, todos podemos e devemos usar protetor solar, creme facial, oferecer salgadinhos deliciosos para filhos e netos, almoçar saladas fresquinhas, cheios de nanocompósitos para maior absorção na pele, flavorizantes e aromáticos, agrotóxicos envenenando a refeição “saudável”. Nem a rotulagem ajuda nos avisando dos perigos a que estamos expostos. Ah, aqui desse lado do consumo os trabalhadores estão incluídos!

Há um desencontro entre a chamada ciência da produção e a ciência dos riscos. Em que medida esse desencontro é planejado/programado/projetado entre os que defendem a sociedade da produção

sem freios, em relação à sociedade de riscos? A sociedade de risco é crítica, porém não deseja voltar à Idade da Pedra, quer acompanhar e usufruir das novas tecnologias, mas decidindo, avaliando, informando, em diálogo contínuo entre saber popular e saber técnico. A ciência pós-normal defende as “comunidades ampliadas de pares” frente aos desafios ambientais contemporâneos para os quais a ciência tradicional não cabe mais dar respostas sozinha (FUNTOWICZ; REVETZ, 1997).

Em segundo lugar, nada está sem controle na produção, comercialização e distribuição, embora muitas vezes “pareça” assim: as multinacionais exercem seu poder de mercado, argumentando segredos industriais, não informando as autoridades e o grande público, continuando suas pesquisas em laboratórios privados ou estendendo suas pesquisas para laboratórios de universidades públicas, com as chamadas parcerias público-privadas, que de público só têm o uso de recursos públicos, sem se sujeitar ao controle público. Muitas vezes, nem os pesquisadores acadêmicos sabem dos riscos que correm ao manipular esses materiais nem tentam minimamente se proteger. O novo Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação do Brasil (MLCT&I), aprovado no início do ano de 2016 (BRASIL, 2016), otimiza a não-regulamentação e o não-controle social, privilegiando a ciência da produção. O novo MLCT&I expressa uma aliança governo-empresa. Seria uma ingenuidade interpretar o contrário! (ANDES-SN, 2016a; 2016b).

Se Marx (2010) identificou no sistema capitalista a mercadoria como sua unidade mínima porque carrega a contradição fundamental – valor de uso e valor de troca - será que podemos pensar que as matérias no nível nanométrico, tão invisíveis, constituem agora as unidades mínimas das mercadorias do nosso tempo histórico? É um antigo/novo fetichismo que se instala, ao ocultar o caráter social do trabalho humano, o processo de trabalho, as relações sociais de produção, os sujeitos trabalhadores: o das nanotecnologias mágicas que, na sua invisibilidade, parecem tudo poder proporcionar aos humanos. Aparentemente vemos que suas potencialidades resolvem problemas, mas não se conhece como atuam, que danos nos trazem em sua ação momentânea ou futura, nos meandros de nossos corpos onde passam a transitar.

O nanofetichismo coloca muitos desafios para a nossa saúde, educação, ambiente: para os trabalhadores que manipulam direta ou indiretamente os nanocompósitos, inclusive os pesquisadores acadêmicos e dos laboratórios; para governos consequentes, com suas agências

regulamentadoras; para os consumidores/trabalhadores em geral que adquirem e usam e ingerem indiscriminadamente produtos nanomanufaturados quase sempre sem informação sobre suas características, os riscos potenciais à saúde a que estão expostos. Enfim, todos somos afetados, das populações das grandes metrópoles às populações rurais, diante das contaminações através dos praguicidas, agrotóxicos, transgênicos, alimentos e remédios.

Essas preocupações e as possibilidades abertas pelas abordagens participativas estão propostas no meu projeto de doutorado apresentado à FSP/USP, cujo principal objetivo é desvendar a invisibilidade da presença das nanotecnologias (através dos nanotêxteis) e dos trabalhadores na condição análoga a escravo e outras formas de trabalho precarizadas na relação saúde-doença das costureiras e costureiros da confecção em São Paulo (PAULINO, 2015).

Na busca do real, perdemos as ilusões, saímos do mundo das aparências. Mas jamais perderemos a utopia por condições de trabalho dignas que promovam a saúde dos trabalhadores e por um mundo justo, democrático e que garanta o controle social sobre quaisquer decisões (envolvendo tecnologias ou não) que se refiram à nossa vida humana em sociedade.

Boaventura de Sousa Santos (2007, p. 71) nos fala que

*“O pensamento moderno ocidental é um pensamento abissal. Consiste num sistema de distinções visíveis e invisíveis, sendo que essas últimas fundamentam as primeiras. As distinções invisíveis são estabelecidas por meio de linhas radicais que dividem a realidade social em dois universos distintos: o ‘deste lado da linha’ e o ‘outro lado da linha’”.*

A característica fundamental do pensamento abissal é a impossibilidade da copresença dos dois lados da linha. E conclui que “vivemos no mundo da injustiça cognitiva global”.

Mas não estamos totalmente perdidos. Vivemos as contradições e elas também abrem portas, como tantos outros autores atestam, sempre na direção da promoção da participação e empoderamento dos diversos sujeitos envolvidos nas questões de risco e saúde das populações

(FREIRE, 1987; WALLERSTEIN; DURAN, 2010; TOLEDO et al., 2012; GUIVANT; MACNAGHTEN, 2011; DI GIULIO et al., 2014; JACOBI, P.; GRANJA, S. I. B.; FRANCO, M. L., 2006; VIRKKUNEN; NEWNHAM, 2015).

Para Santos (2007, p. 84), um caminho é nos esforçarmos para ultrapassar o pensamento abissal e chegar ao pensamento pós-abissal que

*“... parte do reconhecimento de que a exclusão social assume diferentes formas conforme seja determinada por uma linha abissal ou não-abissal e da noção de que enquanto persistir a exclusão definida abissalmente não será possível qualquer alternativa pós-capitalista progressista”;*

*“... parte da ideia de que a diversidade do mundo é inesgotável e continua desprovida de uma epistemologia adequada, de modo que a diversidade epistemológica do mundo está por ser construída”.*

Ainda no mesmo artigo, Santos propõe como saída nos empenharmos na construção de uma ecologia de saberes, que “tem por premissa a ideia da inesgotável diversidade epistemológica do mundo, o reconhecimento da existência de uma pluralidade de formas de conhecimento além do conhecimento científico” (2007, p. 85-86).

Para uma ecologia de saberes, tudo começa com um duplo esforço, de parte a parte, porque exige uma atitude pouco usual no mundo hierarquizado: dos pesquisadores acadêmicos, os especialistas, de assumirem a pequenez de seus conhecimentos e certezas acerca do mundo que nos cerca e estarem abertos para o diálogo e construção de novos saberes com outros sujeitos que têm outros tipos de conhecimento; do público não-especialista, de valorizarem seu conhecimento e, em experiências de empoderamento progressivo, sentirem-se em pé de igualdade com os “antigos” especialistas, percebendo-se como sujeitos de direito à palavra e ação e de um tipo de conhecimento igualmente respeitável. As questões contemporâneas exigem reflexão e decisão conjunta de todos os humanos!

Nesse sentido, fazem-se necessários o engajamento público e o controle social das nanotecnologias, em ambiente democrático que garanta o exercício pleno da soberania dos cidadãos, a participação social que inclui também a contestação pública, o acesso a fontes de informação alternativas, a liberdade para expressar, discutir e defender ideias e teorias, e onde discussão e decisão obedeçam ao princípio da transparência.

Então, a quem interessa engajamento e controle social em relação à CT&I e à nanotecnologia? Interessa aos trabalhadores, população em geral, comunidades, movimento sindical, movimento popular, Conselho Nacional de Saúde (CNS), conselhos estaduais e municipais de saúde, Centro de Referência de Saúde do Trabalhador (CEREST)... Pelo novo Marco Legal de 2016, que expressa uma aliança governo-empresa, governo e empresariado já estão dentro das instâncias decisórias, quem falta são os demais sujeitos e coletivos sociais.

O que faremos para isso acontecer? Podemos começar pelo desenvolvimento de pesquisa-intervenção com abordagens participativas sobre risco, percepção e comportamento em relação à CT&I e às nanotecnologias. Segundo Wallerstein e Duran (2010), “pesquisas participativas em comunidades permitem estabelecer pontes entre ciência e conhecimento prático através do engajamento da comunidade e prática de ações sociais para promover a saúde”. Na verdade, tais experiências ultrapassam a relação com saúde, são transformadoras.

As atividades realizadas pelas instituições e pesquisadores vinculados à Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (RENANOSOMA) somam-se às demais iniciativas: divulgação de pesquisas para públicos diversos - acadêmico, sindical, movimentos de saúde, movimento popular; elaboração de materiais, histórias em quadrinhos (HQs), documentos etc.; cursos de curta e longa duração para entidades interessadas; continuidade do projeto interinstitucional coordenado pela Fundacentro; continuidade dos programas semanais NanoAlerta e Nanotecnologia do Avesso; discussão do novo Marco Legal da CT&I em diferentes fóruns.

Contra o nanofetichismo que encanta, oprime, esconde, obscurece, lutamos pela inclusividade dos trabalhadores e suas comunidades no debate e nas deliberações, com informação e participação, controle

e gestão pública das big e nano tecnologias, porque o direito à vida antecede a qualquer lei ou corpo jurídico. Por isso, a importância do princípio da precaução que pode e deve caminhar ao lado da busca das evidências de riscos à saúde no caso das nanotecnologias.

## Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS DOCENTES DO ENSINO SUPERIOR – SEDE NACIONAL - ANDES-SN. Marco da Ciência e Tecnologia aprofunda privatização da produção de conhecimento. **InformANDES**, Especial 2016, Brasília, maio 2016a.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS DOCENTES DO ENSINO SUPERIOR – SEDE NACIONAL - ANDES-SN. Os impactos privatistas do Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação. **InformANDES**, Especial 2016, Brasília, maio 2016b.

BRASIL. Lei nº 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação. **Portal da Legislação**, Brasília, DF, 12 jan. 2016. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2016/lei/L13243.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/lei/L13243.htm). Acesso em: 25 out. 2016.

DI GIULIO, G. M.; SERRÃO-NEUMANN, S.; VIGLIO, J. E.; FERREIRA, L. C.; CHOY, D. L. Propostas metodológicas em pesquisas sobre risco e adaptação: experiências no Brasil e na Austrália. **Ambiente & Sociedade** (Online), v. 17, p. 35-54, 2014.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FUNTOWICZ, S.; RAVETZ, J. Ciência pós-normal e comunidades ampliadas de pares face aos desafios ambientais. **História, Ciências, Saúde**, Mangui-nhos, RJ, vol. IV, n. 2, p. 219-230, jul.-out. 1997.

GUIVANT, J. S.; MACNAGHTEN, P. O mito do consenso: uma perspectiva comparativa sobre governança tecnológica. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. XIV, n. 2, p. 89-104, jul.-dez. 2011.

INFORMAÇÕES, ESTUDOS E PESQUISAS - IIEP. **Guia de nanotecnologias para trabalhadores**. São Paulo: IIEP, 2015.

JACOBI, P.; GRANJA, S. I. B.; FRANCO, M. L. Aprendizagem social: práticas educativas e participação da sociedade civil como estratégias de aprimoramento para a gestão compartilhada em bacias hidrográficas. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 20, n. 2, p-5-18, abr.-jun. 2006.

MARTINS, P. (Coord.). **Revolução invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil**. São Paulo: Xamã, 2007.



MARX, K. O fetichismo da mercadoria: seu segredo. In: **O capital**: crítica da economia política: livro 1. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2010, p. 92-105.

PAULINO, A. Y. **Desvendando o invisível**: nanotecnologias, trabalho escravo e situações de trabalho na cadeia produtiva do setor têxtil e de confecção na Região Metropolitana de São Paulo. Projeto de pesquisa apresentado para seleção de doutorado na FSP/USP, nov. 2015.

PINTO, A. C. **Nanotecnologia**: o transporte para um novo universo. São Paulo: Fundacentro, 2008. (Nanotecnologia em quadrinhos, n. 1).

REDE DE PESQUISA EM NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE – RENANOSOMA. Disponível em: <http://www.nanotecnologia-doavesso.org/>. Acesso em: 27 nov. 2016.

SANTOS, B. S. (Org.). **Democratizar a democracia**: os caminhos da democracia participativa. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2002.

SANTOS, B. S. Para além do pensamento abissal: das linhas globais a uma ecologia de saberes. **Novos Estudos Cebrap**, São Paulo, n. 79, p. 71-94, nov. 2007.

THIOLLENT, M.; TOLEDO, R. F. Participatory methodology and action research in the area of health. **International Journal of Action Research**, v. 8, p. 142-158, 2012.

TOLEDO, R. F. de; GIATTI, L. L.; CUTOLO, S. A.; BARREIRA, L. P.; PELICIONI, M. C. F. Um sistema metodológico abeto, dinâmico e legítimo na participação: uma experiência multidisciplinar com pesquisa-ação em Iauaretê/AM. In: TOLEDO, R. F.; JACOBI, P. R. (Org.). **A pesquisa-ação na interface da saúde, educação e ambiente**: princípios, desafios e experiências interdisciplinares. São Paulo: Annablume; FEUSP; PROCAM, IEE, FAPESP, 2012, p. 115-131 (Coleção Cidadania e Meio Ambiente).

VIRKKUNEN, J.; NEWNHAM, D. S. **O laboratório de mudança**: uma ferramenta de desenvolvimento colaborativo para o trabalho e a educação. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2015.

WALERSTEIN, N.; DURAN, B. Community-based participatory research contributions to intervention research: the intersection of science and practice to improve health equity. **American Journal of Public Research**, Supplement 1, 2010, v. 100, n. S1, p. S40-S46, abr. 2010.



Capítulo V

**AS REDES BRASILEIRAS  
DE PESQUISA EM  
NANOTOXICOLOGIA**



## *Apresentação*

*Luís Renato Balbão Andrade*

Ainda que pareça ser lugar comum entre os cientistas sociais a opinião de que faltam recursos para implementar pesquisas nas áreas das ciências sociais e humanas, não se pode deixar de destacar que, embora escassas, existem (ou existiram) iniciativas no sentido de oferecer financiamento para projetos de pesquisas que contemplem aquilo que se convencionou chamar de “ciência dos impactos” para diferenciar da “ciência da produção”, esta última visando ao desenvolvimento de novos produtos. Neste cenário, a ciência dos impactos objetiva estudar as possíveis e eventuais consequências adversas do desenvolvimento e do uso de novos produtos (como a ciência da produção). Assim, em 2011, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) lançou um edital para financiar a formação de redes de pesquisa em nanotoxicologia.

Esta iniciativa permitiu que seis redes fossem formadas e desenvolvessem seus estudos, sendo que os principais resultados de algumas destas iniciativas são apresentados neste capítulo, pelas palavras dos próprios coordenadores das redes em questão e de seus colaboradores. É com orgulho que a equipe do projeto da Fundacentro chamado Impactos das nanotecnologias na saúde do trabalhador e no meio ambiente”, no âmbito do qual esta publicação foi desenvolvida, oferece este espaço para servir como mais um canal de divulgação dos importantes achados das redes de pesquisa em nanotoxicologias. Esperamos que as informações apresentadas neste capítulo sirvam de apoio para o debate plural sobre o desenvolvimento das nanotecnologias, de seus benefícios e possíveis impactos adversos.



# ***O avanço da nanotecnologia e os riscos tóxicos de seus resíduos aos ambientes aquáticos: necessidade do estabelecimento de modelos de avaliação de riscos ambientais.***

*César Koppe Grisolia*

Uma grande diversidade de nanomateriais é produzida em escala industrial, com diferentes finalidades. Tais nanomateriais, em sua maioria, são produzidos por diferentes indústrias com características diversas, e com os mais diferentes propósitos e aplicações, desde a área médica até a eletrônica. Além disso, já estão chegando ao mercado as nanoformulações de agrotóxicos. Com isso, surge uma nova área de pesquisa, a nanotoxicologia. Vamos considerar aqui os principais resultados obtidos nos Laboratórios da Rede Centro-Oeste de Nanotoxicologia Aquática. Tais laboratórios desenvolveram estudos sobre a toxicidade e a genotoxicidade de nanomateriais em organismos invertebrados em vertebrados aquáticos.

Há uma grande dificuldade em se entender destino e comportamento dos nanomateriais no ambiente aquático devido ao problema de caracterização das interações que fazem com os componentes abióticos, como luz, temperatura, pH e agentes oxidantes, além dos bióticos – como microrganismos, invertebrados e vertebrados (FARRÉ et al., 2011). Outra dificuldade que a nanotoxicologia enfrenta é a caracterização de forma, tamanho, agregação/aglomeração e dispersão no ambiente aquático. Essa caracterização é baseada em equipamentos de alta resolução, como microscópio eletrônico de transmissão e de varredura e aparelhos de ressonância magnética nuclear e espectroscopia de Raman (FARRÉ et al., 2011).

Na água, os nanomateriais formam coloides interagindo com materiais inorgânicos e orgânicos diferentemente, de acordo com suas características físico-químicas. Tendem a formar agregações/aglomerações, o que predispõe à sedimentação, proporcionando uma transferência da coluna de água para os sedimentos, facilitando a purificação e diminuindo a poluição (REMÉDIOS et al., 2012). O desafio atual é a

padronização de protocolos para a avaliação dos efeitos ambientais de nanomateriais. Quais seriam os melhores testes e modelos biológicos capazes de prever comportamento e destino dos nanomateriais no ambiente? (WESTERHOFF e NOWACK, 2013).

### *Nanomateriais de carbono*

Os nanotubos, as nanofibras e as nanoesferas de carbono apresentam um grande potencial de aplicabilidade em diferentes processos industriais. A produção anual passa de centenas de toneladas, e recentes estudos em camundongos mostraram que os nanotubos de carbono podem apresentar efeitos semelhantes às fibras de asbestos, levantando uma suspeita de carcinogenicidade. Outros autores mostraram riscos de inflamação pulmonar, estresse oxidativos e fibrose intestinal (DAHM et al., 2011). Entretanto, há ainda muitas controvérsias devido às diversas peculiaridades desses nanomateriais, como grau de pureza, nanotubos de parede simples ou múltipla, tamanho da fibra etc. (DAHM et al., 2011). A presença de metais como resíduo de síntese pode alterar bastante o perfil toxicológico dos materiais carbônicos nanoestruturados.

Os nanotubos de carbono de parede múltipla são insolúveis em água. Em avaliações de toxicidade em peixes no nosso laboratório (G-TOX, UnB), as preparações das amostras formaram aglomerados e floculações. Os bioensaios com os peixes da espécie *Danio rerio* (peixe-zebra) mostraram que, nas primeiras horas de exposição nos aquários, os nanotubos permaneciam em flocos de aglomerados na coluna de água e, aos poucos, desceram para o fundo dos aquários, isto é, sedimentaram.

Nesse estudo, avaliamos as diferentes interações dos nanotubos com os peixes expostos a três diferentes concentrações. As análises histológicas de brânquias, fígado e intestino mostraram a presença dos nanotubos somente no intestino, fortemente adsorvido ao conteúdo fecal. Nas brânquias, ocorreu um processo irritante transiente, e a análise por espectroscopia de Raman não revelou presença no fígado. Verificamos que os peixes não internalizaram os nanotubos, pois são adsorvidos pelos conteúdos estomacal e intestinal, e o muco secretado pelas células calciformes das paredes intestinais atua como uma barreira, dificultando a internalização. Após as exposições de 96h, os

peixes foram transferidos para aquários com água limpa por 72h e verificamos a depuração completa dos nanotubos no trato digestório. Os testes de genotoxicidade, com três metodologias diferentes, pesquisa de micronúcleos no sangue periférico, índice de danos no DNA (teste do Cometa) e porcentagem de fragmentação no DNA (citometria de fluxo) apresentaram resultados negativos, isto é, não genotóxicos (SOUZA FILHO et al., 2014).

Em muitos países da União Europeia e nos Estados Unidos, tem-se constatado a preocupante presença de diferentes classes de resíduos de fármacos, inclusive os psicotrópicos (antidepressivos e ansiolíticos) em ambientes aquáticos (FENT et al., 2006). Para purificação de águas contaminadas por esses resíduos, podem ser usadas nanoestruturas de carbono devido à sua alta capacidade adsorvente. Em nossos estudos, utilizamos o carbono nanoestruturado 824, sintetizado no Departamento de Química da Universidade de São Paulo, no campus de Ribeirão Preto, para avaliar sua capacidade de diminuir a toxicidade aos embriões de *D. rerio* expostos a diferentes concentrações do fármaco psicotrópico fluoxetina.

Os embriões foram expostos a concentrações de 0; 0,2; 0,54; 1,48; 4,04; 11,02 e 30,0 mg/L de fluoxetina pura. Outro grupo de embriões foi exposto a essas mesmas concentrações, mas de carbono nanoestruturado 824. Fizemos o teste de embriotoxicidade em ambas as condições com base no protocolo da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2013 – FET nº 236 – Fish Embryotoxicity Test). Nossos resultados mostraram uma interação entre as nanoestruturas de carbono 824 com a fluoxetina. Em consequência, observou-se uma diminuição da toxicidade da fluoxetina em 7,3 vezes ao compararmos com as exposições somente à fluoxetina pura. Demonstramos que a ação adsorvente desses nanomateriais pode ter deixado as moléculas de fluoxetina menos biodisponíveis para os organismos em exposição.

Esses resultados sugerem que as nanoestruturas de carbono 824 possuem potencial para futuras aplicações em remediações de ecossistemas aquáticos contaminados por fármacos ou para compor matrizes de sistemas de filtragem de alta performance para a purificação de águas contaminadas por resíduos químicos (MOURA, 2016).



## *Nanopartículas metálicas*

No Laboratório de Ecotoxicologia (Embrapa-Cerrados), moluscos de água doce *Biomphalaria glabrata* foram expostos às nanopartículas de ferro-maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) durante quatro semanas às concentrações de 1,0; 10,0 e 100,0 mg/L em frasco de 300 mL. Como essas nanopartículas sedimentam, a escolha de um animal bentônico mostrou que houve exposição, e a microtomografia de raios X acusou a presença das nanopartículas no trato digestório do caramujo. As exposições não causaram mortes e não alteraram a performance reprodutiva avaliada por meio das desovas e do número de embriões por desova. Além disso, não observamos efeitos adversos sobre o desenvolvimento dos embriões. Após os 30 dias de exposição, os caramujos foram transferidos para frascos com água limpa por mais 30 dias (teste de depuração). As novas análises por microtomografia mostraram a eliminação das nanopartículas (OLIVEIRA-FILHO et al., 2016).

Outra pesquisa com a preocupação de proteção do ambiente aquático é relativa ao uso da vermiculita ferro-magnética na remediação de vazamentos de petróleo em ambiente aquático. A vermiculita ferro-magnética é um nanocompósito de silicato contendo ferro, magnésio, potássio e alumínio. É altamente adsorvente e eficaz na remoção de óleo na superfície aquática. Portanto, é necessário o conhecimento de possíveis riscos ao ambiente aquático em processo de remediação. Para isso, fizemos testes toxicológicos e de genotoxicidade em peixe-zebra (*D. rerio*).

Após as exposições do peixe-zebra a diferentes concentrações, não observamos mutagenicidade através do teste de micronúcleos em célula de sangue periférico. O teste de indução de quebras no DNA, por meio do ensaio do cometa, acusou efeitos genotóxicos apenas na maior concentração de exposição. O ensaio do cometa é uma metodologia mais sensível que o teste do micronúcleo. As análises histopatológicas das brânquias, do fígado e do intestino não mostraram a presença de lesões que comprometessem a viabilidade dos tecidos. Durante o período de exposição, não houve nenhuma mortalidade de peixes. Assim, verificamos que os riscos para os peixes é bastante baixo, dada a relevância do uso desse nanomaterial na descontaminação de águas (CÁCERES-VÉLEZ et al., 2016).

As nanopartículas magnéticas de óxido de ferro-maghemita apresentam potencial de uso na biomedicina. Podem ser utilizadas no carregamento de quimioterápicos, promovendo a entrega dos fármacos de maneira específica em um órgão-alvo ou tecido e diminuindo seu efeito secundário. Conseqüentemente, torna-se menos tóxico ao organismo (*drug delivery*). São utilizadas também como componentes de contrastes em exames de diagnóstico de imagens, como ressonância magnética e tomografias.

Fizemos bioensaios de genotoxicidade com as essas nanopartículas em peixes da espécie *D. rerio*, por meio de testes dos micronúcleos, ensaio do cometa (*single cell gel electrophoresis*) e teste de fragmentação de DNA por citometria de fluxo em células de sangue periférico dos peixes expostos a diferentes concentrações por 72 h. Além disso, testamos a capacidade de indução de estresse oxidativo, verificando os níveis de peroxidação lipídica, pelo teste de reação com o ácido tio-barbitúrico (teste do TBARS). As concentrações de exposição foram 0; 4,7; 9,3; 18,6; 37,2; 74,6 mg/L. Os resultados mostraram efeitos genotóxicos somente nas duas exposições mais altas (37,2 e 74,2 mg/L). Coincidentemente, apenas nessas duas exposições verificaram-se efeitos estatisticamente significativos de estresse oxidativo – TBARS (SOUZA FILHO, 2015).

Em conclusão, pode-se constatar que os riscos ambientais de nanomateriais estão associados às suas características químicas e às suas dimensões. As nanopartículas de prata em ambiente aquoso ionizam-se, liberando íons  $\text{Ag}^+$ . Baseando-se em princípios físicos, quanto menor a partícula, maior sua superfície em relação à sua massa. Assim, as nanopartículas de prata em dimensões menores são as mais tóxicas, pois são as que mais se ionizam, visto que os íons  $\text{Ag}^+$  em água são mais tóxicos que as próprias nanopartículas constituídas por prata metálica.

Quanto às nanopartículas de ferro, uma vez internalizadas em um organismo, causam estresse oxidativo, que geram radicais livres. Os efeitos genotóxicos que encontramos em nossas pesquisas podem ser atribuídos, sobretudo, aos radicais livres, que sabidamente reagem com a molécula do DNA.

Os nanomateriais de origem carbônica demandam uma atenção de acordo com a perspectiva e o contexto de sua utilização. Isso

porque, apesar das suspeitas de que os nanotubos de carbono possam ter um efeito semelhante às fibras de asbestos, com relação aos riscos de câncer de pulmões, ainda são necessários muitos estudos para a confirmação dessa suspeita. Contudo, sua utilização em processos de ultrafiltrações, com a intenção de remoção de compostos químicos da água, como resíduos de agrotóxicos e de fármacos, tem-se tornado bastante promissora.

Como a nanotecnologia já está incorporada nos processos industriais, e faz parte do nosso dia a dia, há agora a demanda da regulamentação de quais testes ou bioensaios devem ser utilizados para se avaliar os riscos ao ambiente, especialmente aos ambientes aquáticos.

## Referências

- CÁCERES-VÉLEZ, P. R.; FASCINELI, M. L.; GRISOLIA, C. K. *et al.* Genotoxic and histopathological biomarkers for assessing the effects of magnetic exfoliated vermiculite and exfoliated vermiculite in *Danio rerio*. **Science of the Total Environment**, v. 551, p. 228-237, 2016.
- DAHM, M. M.; EVANS, D. E.; SCHUBAUERBERIGAN, M. K. *et al.* Occupational exposure assessment in carbon nanotube and nanofiber primary and secondary manufacturers. **Ann. Occup. Hyg.**, v. 56, n. 5, p. 542-56, 2012.
- FARRÉ, M.; SANCHÍS, J.; BARCELO, D. Analysis and assessment of the occurrence, the fate and the behavior of nanomaterials in the environment. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 30, n.3, p. 517-527, 2011.
- FENT, K.; WESTON, A. A.; CAMINADA, D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. **Aquatic Toxicology**, v. 76, p.122-159, 2006.
- MOURA, D. S. **Avaliação ecotoxicológica de fármacos psicotrópicos e suas interações com nanomateriais, usando embriões de peixe-zebra**. 2016. 250 f. Dissertação. (Mestrado em Biologia Animal) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- OLIVEIRA-FILHO, E. C.; SOUSA FILHO, J.; NOVAIS, L. A. *et al.* Effects of  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles on the survival and reproduction of *Biomphalaria glabrata* (Say, 1818) and their elimination from this benthic aquatic snail. **Environ. Sci. Pollut. Res. Int.**, v. 23, n. 18, p. 18362-18368, 2016.
- REMÉDIOS, C.; ROSÁRIO, F.; BASTOS, V. Environmental nanoparticles interaction with plants: morphologic, physiologic and genotoxic aspects. **Journal of Botany**, v. 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jb/2012/751686/>. Acesso em: 27 maio 2018.
- SOUZA FILHO, J.; MATSUBARA, E.Y.; FRANCHI, L.P. *et al.* Evaluation of carbon nanotubes network toxicity in zebrafish (*daniorerio*) model. **Environmental Research**, v. 134, p. 9-16, 2014.
- SOUZA FILHO, J. **Avaliação tóxica e genotóxica das nanopartículas magnéticas à base de maghemita recobertas com DMSA em *Daniorerio* e em *Poecilia reticulata***. 2015. 63 f. Tese (Doutorado em Biologia Animal) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, 2015.
- WESTERHOFF, P.; NOWACK. B. Searching for global descriptors of engineered nanomaterial fate and transport in the environment. **Accounts of Chemical Research**, v. 46, n. 3, p. 844-853, 2013.

## *Agradecimentos pelo apoio*

*Rede Centro-Oeste de Nanotoxicologia Aquática, coordenada por Cesar Koppe Grisolia, professor titular do Departamento de Genética e Morfologia da Universidade de Brasília, projeto financiado pelo CNPq processo nº 552113/2011-5.*

# *A importância da nanotoxicologia no desenvolvimento de nanotecnologias sustentáveis*

*José Maria Monserrat e Laura Alicia Geracitano*

## *Introdução*

Nos últimos anos, as nanotecnologias têm experimentado um crescimento extremamente intenso, fazendo uso de nanomateriais cujos principais constituintes têm, no mínimo, uma dimensão entre 1 e 100 nanômetros (OBERDÖRSTER et al., 2007), sendo incorporadas em muitos produtos em nível industrial, já disponíveis no mercado (SAVOLAINEN et al., 2010). A importância do uso dos nanomateriais deve-se às suas propriedades químicas e físicas diferentes de seus compostos de escala maior, em grande parte por sua grande relação superfície/volume (MAYNARD et al., 2006).

A partir de uma perspectiva ambiental, deve-se mencionar que a proteção dos ambientes aquáticos tem sido estabelecida como fundamental, pois eles ocupam 70% da superfície global e albergam vários dos ecossistemas mais importantes. Porém, dentro do atual desenvolvimento tecnológico, a utilização da água tem dois componentes em conflito: por um lado, representa um item indispensável para a existência humana, sendo seu consumo cada vez mais incrementado. Por outro lado, a água serve como veículo de transporte e diluição de diferentes compostos tóxicos gerados direta ou indiretamente como consequência da atividade humana (SCHNURSTEIN e BRAUNBECK, 2001). Assim, o destino e os efeitos biológicos que os produtos dissolvidos na água podem exercer têm sido intensivamente estudados nos últimos tempos (COLVIN, 2003; MONSERRAT et al., 2007).

Sendo claros os benefícios sociais oferecidos pelas nanotecnologias e pelos produtos, existe a necessidade de avaliar os riscos às saúdes humana e ambiental associados a seu desenvolvimento e a seu uso. A carência ou a total falta de informação atual acarretam uma distorção da percepção do risco ambiental e da saúde humana, podendo inclusive comprometer a realização dos benefícios associados e investimentos

futuros. Nesse contexto, deve ser salientado que, paralelamente aos esforços realizados para desenvolver nanomateriais com propriedades úteis para a sociedade, existe um número limitado de pesquisas que tenham avaliado os efeitos indesejados deste tipo de materiais quando administrados com propósitos medicinais ou durante sua manufatura (OBERDÖRSTER et al., 2005).

Esta carência de informação pode ser considerada, no mínimo, como grave se levada em conta as amplas distribuição e aplicação dos nanomateriais e a possibilidade de exposição humana ou de outras espécies. Em razão disso, nos últimos anos vem se desenvolvendo a chamada nanotoxicologia, um ramo do conhecimento científico que objetiva avaliar os efeitos dos nanomateriais nos organismos vivos (OBERDÖRSTER et al., 2005, 2007). Esta disciplina tem, entre seus vários objetivos, avaliar os potenciais efeitos deletérios dos nanomateriais, toda vez que, com a crescente utilização das nanotecnologias, é possível inferir que a presença destes em diferentes ambientes irá aumentar (KAHRU e DUBOURGUIER, 2010). Isso, de fato, já tem acontecido com nanopartículas de dióxido de titânio, as quais foram detectadas em corpos de água (KAEGI et al., 2008).

### ***Análise da produção bibliográfica em nanotoxicologia***

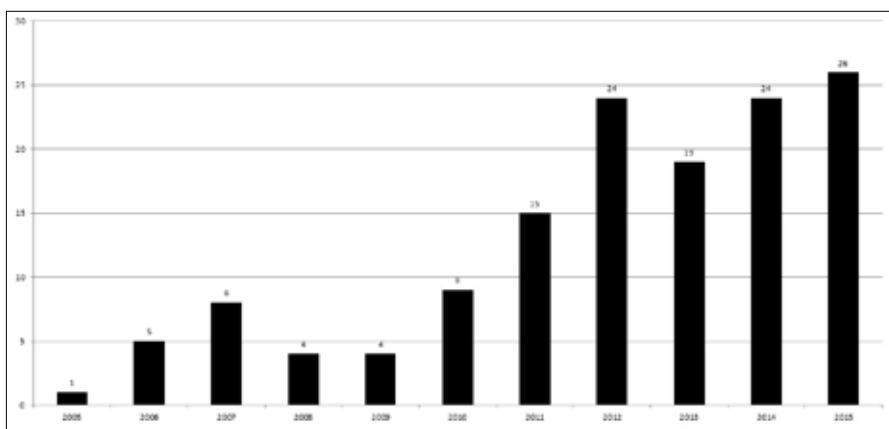
Conforme já detalhado, fica claro que a informação gerada ao longo dos últimos anos nas áreas nanotecnologias tem sido muito superior àquela gerada na área de nanotoxicologia. Uma avaliação mais objetiva deste fato pode ser efetuada valendo-se da técnica cientométrica, uma área da informática que analisa padrões e relações da literatura científica publicada. Este tipo de abordagem permite avaliar objetivamente os tópicos e temas que têm sido priorizados em um determinado campo científico e também detectar áreas deficitárias em algum tipo de informação. Entre os programas comumente utilizados para efetuar análises cientométricas, cabe citar o software de distribuição livre CiteSpace (CHEN, 2006).

Utilizando este programa e a Web of Science™ Core Collection como base de dados e considerando como critério de busca a palavra-chave “nanotoxicology”, logo filtrada para os termos *legal medicine* ou *environmental sciences ecology* ou *public environmental occupatio-*

*nal health* ou *government law*, os artigos publicados no período de 2005 até 2015 foram bem poucos (Figura 1). De fato, autores como Kahru e Ivask (2013) têm estimado que, de cada mil artigos publicados na área de nanotecnologia, apenas dez abordam algum tópico associado à toxicologia e somente um focaliza aspectos ecotoxicológicos.

Na Tabela 1, podem-se observar as palavras-chave utilizadas nos artigos detalhados na Figura 1. Entre elas, destaca-se a palavra-chave estresse oxidativo, pois já faz tempo que se considera que a geração de estresse oxidativo é um dos principais mecanismos de toxicidade induzidos por nanomateriais, tanto orgânicos quanto inorgânicos (COLVIN, 2003; SAYES et al., 2005; BRITTO et al., 2012).

Já a palavra-chave nanotubos de carbono se figurar como relevante pode se justificar devido à sua alta utilização em função de suas propriedades mecânicas, eletrônicas e térmicas, além de suas propriedades químicas. Em termos da toxicidade dos nanotubos de carbono, muitos trabalhos apresentam resultados conflitantes. Estas inconsistências podem ser explicadas por muitos fatores externos e intrínsecos dos nanotubos de carbono, tais como carga e modificação da superfície, forma, comprimento, aglomeração ou número de camadas, os quais podem influenciar a toxicidade destes nanomateriais (SHVEDOVA et al., 2012).



**Figura 1** Análise dos artigos publicados e que figuram na base de dados Web of Science™ Core Collection com base as palavras chave e filtros utilizados indicados no texto principal ao longo do período 2005-2015



**Tabela 1** Palavras-chave associadas aos 139 artigos publicados no período de 2005 a 2015, com base nos critérios de seleção mencionados no texto.

<b>Palavras-chave</b>	<b>Número de artigos em que aparecem do total de 139</b>
<i>Nanoparticles</i>	41
<i>Nanomaterials</i>	37
<i>Oxidative stress</i>	30
<i>Silver nanoparticles</i>	22
<i>Nanotechnology</i>	21
<i>Cytotoxicity</i>	20
<i>Carbon nanotubes</i>	18
<i>Particles</i>	17

## Referências

- BRITTO, R. S.; GARCIA, M.L.; ROCHA, A.M. *et al.* Effects of carbon nano-materials fullerene C60 and fullerol C60 (OH)18–22 on gills of fish *Cyprinus carpio* (Cyprinidae) exposed to ultraviolet radiation. **Aquat. Toxicol.**, v. 114-115, p. 80-87, 2012.
- CHEN, C. CiteSpace II: detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature. **J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.**, v. 57, n. 3, p. 359-377, 2006.
- COLVIN, V. K. The potential environmental impact of engineered nanomaterial. **Nature Biotechnol.**, v. 21, n. 10, p. 1166-1170, 2003.
- KAEGI, R.; ULRICH, A.; SINNET, B. *et al.* Synthetic TiO<sub>2</sub> nanoparticle emission from exterior facades into the aquatic environment. **Environ. Pollut.**, v. 156, p. 233-239, 2008.
- KAHRU, A.; DUBOURGUIER, H. C. From ecotoxicology to nanoecotoxicology. **Toxicol.**, v. 269, p. 105-119, 2010.
- KAHRU, A., IVASK, A. Mapping the dawn of nanoecotoxicological research. **Acc. Chem. Res.**, v. 46, p. 823-833, 2013.
- MAYNARD, A.W.; AITKEN, R. J.; BUTZ, T. Safe handling of nanotechnology. **Nature**, v. 444, p. 267-269, 2006.
- MONSERRAT, J. M.; MARTINEZ P. E.; GERACITANO, L. A. *et al.* Pollution biomarkers in estuarine animals: critical review and new perspectives. **Comp. Biochem. Physiol.**, v. 146, p. 221-234, 2007.
- OBERDÖRSTER, G.; OBERDÖRSTER, E.; OBERDÖRSTER, J. Nanotoxicology: An emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. **Environ. Health Perspect.**, v. 113, p. 823-839, 2005.
- OBERDÖRSTER, G.; STONE, V.; DONALDSON, K. Toxicology of nanoparticles: a historical perspective. **Nanotoxicology**, v. 1, p.2-25, 2007.
- SAVOLAINEN, K.; PYLKKÄNEN, L.; NORPPA, H. Nanotechnologies, engineered nanomaterials and occupational health and safety – a review. **Saf. Sci.**, v. 48, p. 957-963, 2010.
- SAYES, C.M.; GOBIN, A.M.; AUSMAN, K.D. *et al.* Nano-C60 cytotoxicity is due to lipid peroxidation. **Biomaterials**, v. 26, p. 7587-7595, 2005.

SCHNURSTEIN, A.; BRAUNBECK, T. Tail moment versus tail length - application of an in vitro version of the comet assay in bio monitoring for genotoxicity in native surface waters using primary hepatocytes and gill cells from zebrafish (*Danio rerio*). **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, v. 49, p. 187-196, 2001.

SHVEDOVA, A. A.; PIETROIUSTI, A.; FADEEL, B.; KAGAN, V. E. Mechanisms of carbon nanotube-induced toxicity: focus on oxidative stress. **Toxicol. Appl. Pharmacol.**, v. 261, p. 121-133, 2012.

## *Rede Nanotox*

*José Mauro Granjeiro e Alexandre Malta Rossi*

Os materiais nanoestruturados oferecem um vasto campo de oportunidades para o crescimento industrial e o desenvolvimento econômico e social. Os novos produtos com base na nanotecnologia abrangem desde materiais para uso industrial e componentes alimentares, cuja produção se mede em toneladas de produtos nanoestruturados, até os dispositivos microscópicos da indústria eletroeletrônica, química fina e farmacêutica.

A OCDE estima que o mercado de produtos nanotecnológicos movimentou cerca de US\$ 350 bilhões e prevê que até 2020 esse valor seja superior a US\$ 1 trilhão (HANKIN; CABALLERO, 2014, p. 5). Segundo o inventário de produtos nanoestruturados para o consumidor – do inglês Consumer Products Inventory (CPI), em 2005 existiam apenas 54 produtos no inventário, em oposição aos 1.814 registrados em 2014. Entre estes produtos, 1.244 puderam ser agrupados em função dos benefícios esperados com o uso de nanomateriais e, destes, 149 produtos alegam conter nanomateriais (NM), particularmente nanopartículas (NP) de prata, titânio, ouro, entre outros.

O aumento do número de produtos baseados em nanotecnologia tem sido acompanhado por um forte crescimento na produção científica e tecnológica nas áreas de preparação e processamento, caracterização físico-química e, particularmente, em estudos sobre toxicidade de nanopartículas e nanomateriais. Apesar do grande número de publicações científicas, a literatura internacional tem levantado resultados conflitantes sobre a toxicidade de nanomateriais. Isto tem como origem a grande controvérsia devido a estudos conflitantes, por exemplo, ligados às distintas propriedades físico-químicas dos materiais nano (entre 1 e 100 nm em pelo menos uma das dimensões) quanto à forma não nano; à possibilidade de associação das nanopartículas a elementos biológicos (coronas proteicas) ou ambientais (fragmentos de bactérias, alérgenos, entre outros) que podem comprometer as análises; às NP poderem afetar os testes toxicológicos per se, alterando os resultados; e aos testes toxicológicos apontarem efeitos em concentrações elevadas,

não considerando, de maneira geral, exposições em baixa concentração por longo tempo.

O grande desafio reside em avaliar se os métodos existentes asseguram análises confiáveis da toxicidade dos NM, bem como desenvolver, quando necessário, novas estratégias e linhas de investigação. É preciso ter confiança nas avaliações dos produtos nanotecnológicos para que se tenha uma dimensão precisa de seus riscos à saúde humana e ao meio ambiente (DAMASCENO et al., 2013). Este cenário complexo e desafiador tem mobilizado governos, instituições regulamentadoras, órgãos de pesquisa e sociedade civil quanto à necessidade de se conhecer os riscos de materiais nanoestruturados (BORM et al., 2006; DAMASCENO et al., 2013; SHATKIN et al., 2016).

Considerando que a introdução destes produtos gera novos paradigmas de segurança (toxicológicos e ambientais), um esforço significativo é necessário para prover informações acerca de métodos de avaliação da toxicidade dos NM, com base em parâmetros significativos e respaldados por comparações interlaboratoriais aceitas internacionalmente. O encolhimento do tempo entre o desenvolvimento e a chegada ao mercado dos novos nanomateriais impulsiona a necessidade de medidas urgentes por parte dos reguladores, impactando fortemente em barreiras técnicas ao comércio internacional e à exposição da população consumidora ou do setor produtivo à nanotecnologia.

Embora estudos toxicológicos estejam se tornando continuamente disponíveis, a relevância destes para os reguladores nem sempre é clara e comprovada. A necessidade de ações regulatórias deve aliar-se ao rigor científico-tecnológico da informação. Iniciativas recentes de importantes agências regulatórias internacionais demonstram essa preocupação, bem como as ações implementadas. Por exemplo, a *Food & Drug Administration* (FDA-EUA) apresentou em 2010 a iniciativa voltada aos avanços de ciências regulatórias para saúde pública, visando a expandir a parceria com instituições acadêmicas, setor industrial e organizações governamentais em quatro áreas prioritárias: modernização de metodologias em toxicologia, definição de biomarcadores, uso de células-tronco, e regulação de uso de fármacos; tecnologias emergentes, notadamente a nanotecnologia, os biofármacos e os bioprodutos; a informatização e a integração de ciências regulatórias de saúde; e a nutrologia e a saúde pública. Assim, torna-se clara a preocupação da

FDA em modernizar ensaios de segurança usando novas tecnologias, procurando definir os biomarcadores para melhorar os modelos in vivo, in vitro e estudos sobre insumos e processos em atendimento à saúde.

A União Europeia, por seu lado, no 7<sup>th</sup> *Framework Programme* (FP7), tem apoiado diversos consórcios na área de nanotecnologia, como o *Nanovalid (Development of reference methods for hazard identification, risk assessment and LCA of engineered nanomaterials – 2012-2014)*, programa que desenvolveu atividades de pesquisa com foco em métodos de referência para o gerenciamento do risco de nanomateriais.

Outro exemplo é o Nanoreg, consórcio com de mais de 50 instituições (empresas, universidades, institutos de pesquisa, institutos de metrologia e órgãos de governo), o qual visa estabelecer uma abordagem comum para a análise regulatória de nanomateriais e tem como objetivos: disponibilizar aos legisladores um conjunto de ferramentas para avaliação de risco e instrumentos para tomada de decisão a curto e médio prazos, por meio da análise de dados e realização de avaliação de riscos, incluindo a exposição, monitoramento e controle, para um número selecionado de nanomateriais já utilizados em produtos existentes no mercado internacional; desenvolver, a longo prazo, novas estratégias de ensaio, adaptados a um elevado número de nanomateriais em que muitos fatores podem afetar seu impacto ambiental e de saúde; e estabelecer uma estreita colaboração entre governos e indústria no que diz respeito ao conhecimento necessário para a gestão adequada dos riscos e criar a base para abordagens comuns, conjuntos de dados mutuamente aceitáveis e práticas de gestão de risco. Em 2014, o Comitê Interministerial de Nanotecnologia (CIN) aprovou a participação do Brasil no consórcio Nanoreg em 2014, cujas atividades se iniciaram em 2015 com o apoio do MCTI/CNPq.

Neste contexto, em 2012 o CNPq lançou uma chamada nacional para propostas de redes em nanotoxicologia, sendo a Rede Nanotox apoiada neste edital. A Rede Nanotox tem a coordenação no Laboratório de Bioengenharia da Diretoria de Metrologia Aplicada às Ciências da Vida do Inmetro e conta com a participação de pesquisadores do Rio de Janeiro (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense, Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde, Pontifícia Universidade

Católica); de Minas Gerais (Universidade Federal de Minas Gerais); do Rio Grande do Sul (Universidade Federal do Rio Grande do Sul); e de Santa Catarina (Universidade Federal de Santa Catarina); além de empresas (Biossintesis, NanoGávea e Excellion e Banco de Células do Rio de Janeiro). Entre mais de 60 cientistas, 15 são bolsistas de produtividade nível 1 do CNPq e 10, nível 2. A equipe é composta por grupos de pesquisa de áreas da física, química, engenharia, biologia, farmácia, medicina e odontologia.

A rede tem como meta central contribuir para colocar o Brasil em uma posição estratégica no enfrentamento destas grandes questões levantadas pelo surgimento da nanotecnologia e das nanociências. A estruturação da rede com base em grupos de pesquisa multidisciplinares, Nanotox e experiência na produção de nanomateriais e sua caracterização físico-química-biológica e toxicológica *in vitro* e *in vivo* tem permitido: 1) a convergência de conhecimento multidisciplinar com foco na pesquisa básica e aplicada voltada à nanotecnologia; 2) intensificar a cooperação e a articulação entre instituições científicas e tecnológicas e empresas privadas e públicas; 3) examinar os riscos potenciais e os impactos à saúde humana de novas tecnologias baseadas na nanotecnologia; 4) produzir materiais de referência de partículas nanométricas; 5) estabelecer procedimentos normalizados para a avaliação da toxicidade de NP; 6) promover o avanço do conhecimento científico e tecnológico na área da toxicologia de NP, assegurando sua ampla divulgação nos vários setores da sociedade brasileira; 7) formar recursos humanos especializados para a produção e caracterização físico-química e biológica de NP.

As atividades da rede Nanotox estão desdobradas em subprojetos que ocorrem de maneira integrada e complementar para alcançar o objetivo final da seleção, da definição, normalização e da divulgação de métodos de análise e de ensaios de nanotoxicidade. A primeira vertente definiu as rotas de produção de NP com base na literatura e na experiência prévia dos grupos que compõem a rede Nanotox. Foi possível otimizar o protocolo para produção de nanopartícula de ouro, que se mostrou bastante estável e reprodutivo em comparações interlaboratoriais realizadas no âmbito do projeto Nanovalid/FP7. Encontra-se em fase final de caracterização como material de referência certificado quanto a diâmetro, podendo ser utilizada para a calibração de microscó-

pios eletrônicos. Ainda, poderá ser utilizada como controle negativo em ensaios de citotoxicidade convencionais (LEITE et al., 2015a).

Outra vertente do trabalho tem focado na definição de um conjunto das técnicas necessárias para a caracterização físico-química das NP, no estabelecimento de procedimentos padrões a serem utilizados nas medidas analíticas e na definição das incertezas de medição. Os estudos desenvolvidos no âmbito da rede Nanotox e os consórcios Nanovalid e Nanoreg indicam que a caracterização físico-química deve envolver, pelo menos, os seguintes métodos: microscopia eletrônica de transmissão e varredura, microscopia por força atômica, difração de raios X, *Brunauer-Emmett-Teller method* (BET), *dynamic light scattering* (DLS) e *potencial zeta*, *inductively coupled plasma mass spectrometry* (ICP), *X-ray photoelectron spectroscopy* (XPS) e *nanoparticle tracking analysis* (NAT).

A terceira vertente da rede Nanotox tem definido, para um conjunto básico de nanopartículas selecionadas, modelos para estudo da resposta celular e tecidual às NP. A interação destas com as células tem sido avaliada quanto a efeitos tóxicos, perfil de produção de citocinas e expressão de genes e de micro-RNA, proteômica, além de análises de viabilidade celular, nível de estresse oxidativo, apoptose, bem como de mecanismos de internalização das NP (RIBEIRO et al., 2016; COLLINS et al., 2016). Ao nível molecular, pretende-se identificar biomarcadores e ensaios moleculares que permitam a determinação do nível de perigo das NP testadas a fim de prover aos organismos reguladores ferramentas de segurança e controle de qualidade. Análises realizadas na rede evidenciam que métodos alternativos validados e disseminados pela *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD) representam uma primeira linha de análise adequada para o estudo toxicológico das NP (OECD, 2012).

A rede tem competência instalada para análises sistêmicas e teciduais monitoradas em modelos animais, incluindo estudos de toxicologia reprodutiva. Modelos de tecido-equivalentes tridimensionais vêm sendo desenvolvidos para verificar a resposta de conjuntos celulares à presença de nanopartículas ou de materiais nanoestruturados como: (i) pele-equivalente, para monitorar o contato tópico e penetração ou sensibilização da pele; (ii) mucosa-equivalente, incluindo as mucosas diges-



tivas (SANTOS et al., 2016) e respiratórias, para monitorar o contato por respiração ou ingestão; (iii) vaso-equivalente, para monitorar a via de distribuição parenteral e a penetração de partículas nos tecidos via sistema vascular sanguíneo; e (iv) tecidos-alvo para terapias avançadas com nanomateriais (LEITE et al., 2015b; BAPTISTA et al., 2013). Por fim, a rede Nanotox tem infraestrutura para estudos clínicos na área de odontologia no Núcleo de Pesquisa Clínica em Odontologia da Universidade Federal Fluminense, com ênfase em materiais nanoestruturados como substitutos ósseos (CALASANS-MAIA et al., 2015; VALIENSE et al., 2015). Outra vertente refere-se à divulgação sistemática do conhecimento gerado na rede para os meios científico e industrial e, principalmente, para o grande público, estabelecendo uma ponte entre a academia e a sociedade em temas relacionados com a nanotecnologia.

Ao longo de quatro anos de estudos integrados realizados tanto no Brasil quanto em parceria com diversas instituições do exterior, uma grande quantidade de dados e protocolos foi acumulada e vem sendo sistematicamente analisada na rede e nos consórcios internacionais. A perspectiva futura é a disponibilização deste conjunto de protocolos, a organização de oficinas para disseminação dos métodos e a disponibilização dos resultados obtidos aos reguladores nacionais, visando a contribuir com a decisão informada dos gestores da área de saúde.

## Referências

- BAPTISTA, L. S.; SILVA, K. R.; PEDROSA, C. S. *et al.* Bioengineered cartilage in a scaffold - free method by human cartilage - derived progenitor cells: a comparison with human adipose - derived mesenchymal stromal cells. **Artificial Organs**, v. 37, n. 12, p. 1068-1075, 2013.
- BORM, P. J.; ROBBINS, D.; HAUBOLD, S., *et al.* The potential risks of nanomaterials: a review carried out for ECETOC. **Particle Fibre Toxicology**, v. 14; n. 3, p. 11, 2006.
- CALASANS-MAIA, M. D.; MELO, B. R.; ALVES, A. T. N. N. *et al.* Cyto-compatibility and biocompatibility of nanostructured carbonated hydroxyapatite spheres for bone repair **Journal of Applied Oral Sciences**, v. 23, n. 6, p. 599-608, 2015.
- COLLINS, A. R.; ANNANGI, B.; RUBIO, L. *et al.* High through put toxicity screening and intracellular detection of nanomaterials. **Wiley Interdisciplinary Reviews. Nanomedicine and Nanobiotechnology**, v. 9, n. 1, 2017.
- DAMASCENO, J. C.; RIBEIRO, A. R. L.; BALOTTIN, L. *et al.* Nanometrology – challenges for health regulation. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v.1, p. 100-109, 2013.
- LEITE, P. E.; PEREIRA, M. R.; GRANJEIRO, J.M. Hazard effects of nanoparticles in central nervous system: Searching for biocompatible nanomaterials for drug delivery. **Toxicology in Vitro**, v. 29, n. 7, p. 1653-1660, 2015b.
- LEITE, P. E. *et al.* Gold nanoparticles do not induce myotube cytotoxicity but increase the susceptibility to cell death. **Toxicology in Vitro**, v. 29, n. 5, p. 819-827, 2015a.
- HANKIN, S. M.; CABALLERO, N. E. D. **Regulação da nanotecnologia no Brasil e na União Europeia**. Traduzido por MCTI. [S.l.]: MCTI, 2014. Disponível em: [http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/dialogos\\_setoriais\\_-\\_nanotecnologia\\_portugues.pdf](http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/dialogos_setoriais_-_nanotecnologia_portugues.pdf). Acesso em: 21 maio 2019.
- RIBEIRO, A. R.; GEMINI-PIPERNI, S.; TRAVASSOS, R. *et al.* Trojan like internalization of anatase titanium dioxide nanoparticles by human osteoblast cells. **Scientific Report**, v. 6, n. 23615, p. 1-11, 2016.
- SANTOS, C. A.; ANDRADE, L. R.; COSTA, M. H. *et al.* Gastrospheres of human gastric mucosa cells: an in vitro model of stromal and epithelial stem cell niche reconstruction. **Histology and Histopathology**, v. 31, n. 8, p. 879-895, 2016.

SHATKIN J. A.; ONG, K. J.; BEAUDRIE, C. *et al.* Advancing Risk Analysis for Nanoscale Materials: report from an international workshop on the role of alternative testing strategies for advancement. **Risk Analysis**, v. 36, n. 8, p. 1520-1537, 2016.

THE PROJECT ON EMERGING NANOTECHNOLOGIES. **Consumer products inventory**. Disponível em: <http://www.nanotechproject.org/cpi>. Acesso em: 25 mar 2015.

VALIENSE, H.; BARRETO, M.; RESENDE, R. F. *et al.* In vitro and in vivo evaluation of strontium-containing nanostructured carbonated hydroxyapatite/sodium alginate for sinus lift in rabbits. **Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials**, v. 104, n. 2, p. 274-282, 2016.

## ***Rede cooperativa de pesquisas em nanotoxicologia: toxicologia ambiental de nanopartículas de CuO e Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>***

*Ana Letícia de Oliveira Franco Rossetto, Cristiane Funghetto Fuzinato, Denice Schulz Vicentini, Silvia Pedroso Melegari e William Gerson Matias.*

A produção e a comercialização de produtos contendo nanomateriais, sem um estudo prévio para avaliar os possíveis efeitos tóxicos, pode resultar em danos irreversíveis à saúde humana e ao meio ambiente. Tais danos podem ocorrer porque os nanomateriais apresentam características físicas e químicas diferentes dos compostos em escalas convencionais. Esses efeitos são difíceis de prever a partir das propriedades conhecidas da mesma matéria em escala microscópica ou de extrapolações teóricas com base em propriedades atômicas ou moleculares. As investigações no âmbito físico-químico avançam rapidamente; contudo, a compreensão dos efeitos biológicos dos nanomateriais na saúde humana e o meio ambiente ainda é limitada. Tais preocupações são expressas pelos cientistas e pelo público em geral (KHAN, 2015).

Dessa forma, a nanotoxicologia vem tentando elucidar estes processos por meio de pesquisas e relatos atuais que têm mostrado que as propriedades biológicas específicas dos nanomateriais dependem da relação entre suas propriedades físicas e químicas, seu transporte biológico, seu evolução no ambiente, seus pontos de entrada nos organismos, órgãos e células e sua resposta celular para a exposição.

No Brasil, a questão da toxicidade associada aos nanomateriais teve sua relevância manifestada, sobretudo, após a iniciativa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) em 2011, que passou a financiar especificamente estes estudos por meio da criação de Redes Nacionais de Nanotoxicologia.

O grupo de pesquisas do Laboratório Toxicologia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (Labtox-UFSC) recebeu aporte financeiro do MCTI para o projeto Rede cooperativa de pesquisas em nanotoxicologia aplicada a nanopartículas de interesse da indústria petrolífera e de tintas. O objetivo principal de investigação da Rede

foi a nanotoxicologia, direcionado as pesquisas no sentido de verificar os efeitos desses nanomateriais em ecossistemas aquáticos e celulares utilizando diversos bioindicadores de toxicidade (algas, microalgas, microcrustáceos, bactérias e diferentes linhagens celulares). Foram desenvolvidas ainda pesquisas centradas na síntese, na caracterização e na compreensão do comportamento físico-químico dos nanomateriais que têm o potencial para utilização em vários campos da ciência. A exemplo, o grupo Labtox auxiliou na investigação e na elucidação de evidências de que as nanopartículas (NP) de ouro revestidas com glicodendrimeros causam a agregação de microalgas unicelulares (*Chlamydomonas reinhardtii*) e uma diminuição na produção de biomassa. Além disso, esse efeito afeta a estrutura da comunidade de microalgas, o primeiro elo na cadeia trófica (PERREAULT et al, 2014). Estes fatos levam a refletir sobre os efeitos dos nanomateriais, sobretudo em termos de saúde pública e meio ambiente.

Entre os diversos nanomateriais estudados no Labtox, as NP de óxido de cobre (NP CuO) e NP de óxido de cromo (NP Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ganharam destaque devido à sua versatilidade em aplicações industriais. Existe um interesse crescente no uso da NP CuO na composição de tintas anti-incrustantes para revestimentos de embarcações e plataformas offshore pelas características biocidas do CuO. A NP Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> possui uma diversificada aplicação que vai desde aplicações refratárias, catalisadores, agentes de sinterização, pigmentos, revestimentos de proteção térmica até suplementos alimentares (COSTA et al., 2016). O Labtox investigou a toxicidade destas NP em diferentes níveis da cadeia trófica.

Os efeitos tóxicos da NP CuO foram identificados sobre microrganismos que constituem o primeiro elo da cadeia trófica, os produtores primários. Para ecossistemas aquáticos, as microalgas verdes *C. reinhardtii* (PERREAULT et al., 2012a; MELEGARI et al., 2013) foram afetadas pela toxicidade dessa NP, afetando a viabilidade celular por meio de efeitos na inibição do crescimento, na indução ao estresse oxidativo, na alteração do fotossistema II (PSII) e na diminuição dos níveis de clorofila. Foram identificados ainda efeitos sobre o mecanismo de defesa celular da microalga pelo aumento da atividade de enzimas antioxidantes. A internalização da NP CuO pelas microalgas também foi confirmada, mecanismo esse que favorece a toxicidade através de um efeito denominado “cavalo de Troia”, no qual a NP é internalizada e a liberação de íons de cobre ocorre dentro da célula.

A NP CuO, como anti-incrustante, pode ser empregada na forma pura, mas também pode sofrer alterações químicas ao se tentar prolongar sua vida útil. Para isso, o revestimento dessa NP com polímeros vem sendo empregado como uma alternativa para alcançar esse objetivo. Contudo, estudos têm demonstrado que o revestimento polimérico dessa NP pode potencializar os efeitos tóxicos na NP CuO a longo prazo. Em uma comparação entre a toxicidade da NP CuO pura e a NP revestida com o polímero polietireno-co butil acrilato, sob a microalga verde *C. reinhardtii* (PERREAULT et al., 2012a), observou-se que a NP revestida foi mais tóxica que a NP pura para a microalga verde *C. reinhardtii*. O principal efeito do revestimento com polímero na NP CuO foi a diminuição da aglomeração das NP, o que facilitou sua internalização. Assim, a internalização das NP foi o principal mecanismo identificado para explicar a maior toxicidade para a NP revestida, pois sua maior absorção resulta em maior concentração intracelular. O efeito tóxico da NP CuO sobre organismos que compõem a base da cadeia trófica alerta quanto à toxicidade desse nanomaterial ao meio ambiente.

A NP CuO apresentou-se tóxica também para outros organismos produtores primários de ecossistemas aquáticos, as macrófitas aquáticas da espécie *Lemna gibba* (PERREAULT et al., 2010) e *Landoltia punctata* (LALAU et al. 2015). Houve evidências da toxicidade da NP, com implicações sobre a taxa de crescimento, alteração da ultraestrutura celular e morfologia, além de mudanças no conteúdo de pigmentos fotossintéticos. Todos esses efeitos foram associados a maior liberação de íons de cobre da NP para o meio de cultura, disponibilizando-os para este organismo. Apesar de não terem sido identificados efeitos de internalização da NP inteira, a elevada capacidade de as macrófitas bioacumularem esses íons de cobre disponibilizados pela NP pode causar impactos ambientais importantes. Isso se deve à posição das macrófitas na cadeia trófica. Tanto as microalgas como as macrófitas aquáticas servem de alimento para organismos de níveis tróficos mais elevados (consumidores primários). Uma vez acumulado, seja na forma de NP ou na forma iônica, o cobre sofre biomagnificação dentro da cadeia trófica.

A toxicidade da NP CuO foi identificada paralelamente em modelos de consumidores primários, as espécies de microcrustáceos *Daphnia magna* (ROSSETTO et al., 2014a; ROSSETTO et al., 2014b) e *Daphnia similis* (TAVARES et al., 2014). Verificaram-se efeitos de curto e longo prazo nas exposições à NP, como mortalidade (*D. similis* e *D. magna*), diminuição da reprodução e deformação morfológica (*D. mag-*

na). Neste caso, a toxicidade da NP CuO pareceu estar associada, principalmente, à ingestão da NP e à liberação de íons de cobre, pois não foram observados efeitos de internalização celular da NP pelos organismos. Em uma comparação entre o efeito do CuO na escala nanométrica (NP) com a micrométrica (MP), verificou-se que a redução do tamanho da partícula pode potencializar até dez vezes sua toxicidade para a *D. magna* (ROSSETTO et al., 2014a). Ainda para *D. magna*, verificou-se que a NP CuO revestida com polianilina (ROSSETTO et al. 2014b) apresentou-se mais tóxica do que as NP pura, afetando a reprodução e destacando a necessidade de testes de curto e longo prazo para melhor compreensão dos mecanismos de toxicidade desta NP.

Quando avaliada a toxicidade sobre os decompositores primários, novamente a NP CuO se apresentou tóxica. Testes com a bactéria marinha luminescente *Aliivibrio fischeri* (ROSSETTO et al. 2014a; ROSSETTO et al., 2014b) confirmaram a toxicidade desta NP para este microorganismo, o que foi verificado pelo decréscimo no metabolismo evidenciado pela diminuição da bioluminescência. Esses resultados chamam a atenção para a toxicidade deste nanomaterial que, quando presente em ecossistemas aquáticos, pode causar danos irreversíveis tanto a curto quanto a longo prazo em diferentes níveis da cadeia trófica.

O grupo de pesquisas do Labtox investigou ainda a toxicidade da NP Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em diversos níveis tróficos. Sua toxicidade foi verificada em produtores primários, consumidores primários e decompositores primários. Para os produtores primários, a toxicidade da NP Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi identificada em microalga *C. reinhardtii*, por meio de efeitos sobre a viabilidade celular, internalização da NP, indução do estresse oxidativo e alteração da atividade do PSII. Os principais mecanismos de toxicidade identificados que contribuem para a toxicidade desta NP é o efeito “cavalo de Troia” e a possibilidade da oxidação dos íons de Cr III para Cr IV no meio de cultura do organismo exposto, estado de oxidação que torna o Cr potencialmente mais tóxico.

A toxicidade da NP Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foi identificada também em modelos de consumidores primários, nas espécies de microcrustáceos *D. magna* (PUERARI et al. 2016) e *D. similis* (TAVARES et al, 2014). Para esses organismos, a NP se apresentou altamente tóxica, com efeitos agudos e crônicos em concentrações muito baixas, além de causar consideráveis alterações ultraestruturais nas brânquias, no epitélio intestinal e nas mitocôndrias de células epiteliais intestinais de *D. magna*, o que ressalta a importância de legislações ambientais que regulamentem o descarte das

NP. Neste estudo, não foram observadas concentrações significativas de Cr VI no meio que justificassem a elevada toxicidade. Neste caso, o mecanismo de liberação de íons de cromo não pareceu ser o principal causador da toxicidade para a NP  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . A NP foi duas vezes mais tóxica que o sal de cromo de controle. Tal fato indica que as características da NP, como seu reduzido tamanho, têm influência importante sobre a toxicidade observada.

Quando avaliada a toxicidade sobre os decompositores primários, novamente a NP  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  se apresentou tóxica. Testes com a bactéria marinha luminescente *A. fischeri* (PUERARI et al., 2016) confirmaram a citotoxicidade desta NP para o microrganismo, com o decréscimo no metabolismo, evidenciado pela diminuição da bioluminescência. Entretanto, estudos mais aprofundados deste nanomaterial devem ser conduzidos devido à escassez de dados ecotoxicológicos.

Os estudos realizados em diferentes bioindicadores de níveis tróficos distintos confirmaram os processos nanotoxicológicos das NP CuO e de NP  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (Figura 1). Isso evidencia a necessidade de estudos prévios a fim de conhecer não só as propriedades inovadoras dos nanomateriais, mas também seu potencial toxicológico antes de eles serem utilizados na cadeia produtiva, o que assegura seu uso de forma segura e sustentável.



**Figura 1** Efeitos toxicológicos observados para NP CuO e NP  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  em bioindicadores de diferentes níveis tróficos.





## *Referências*

COSTA, C. H.; PERREAULT, F.; OUKARROUM, A. *et al.* Effect of chromium oxide (III) nanoparticles on the production of reactive oxygen species and photosystem II activity in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. **The Science of the Total Environment**, v. 565, p. 951-960, 2016.

KHAN, S. H.; FULEKAR, M. H.; PATHAK, B. Nanotoxicology - health and environmental impacts: a review. **Journal of Environmental Nanotechnology**, v. 4, n. 3, p. 55-73, 2015.

LALAU, C. M.; MOHEDANO, R. A.; SCHMIDT, É. C. *et al.* Toxicological effects of copper oxide nanoparticles on the growth rate, photosynthetic pigment content, and cell morphology of the duckweed *Landoltia punctata*. **Protoplasma**, v. 252, p. 221-229, 2015.

MELEGARI, S. P. *et al.* Evaluation of toxicity and oxidative stress induced by copper oxide nanoparticles in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. **Aquatic Toxicology**, p. 431-440, 2013.

PERREAULT, F. *et al.* Polymer coating of copper oxide nanoparticles increases nanoparticles uptake and toxicity in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. **Chemosphere**, v. 87, p. 1388-1394, 2012a.

PERREAULT, F. *et al.* Evaluation of copper oxide nanoparticles toxicity using chlorophyll a fluorescence imaging in *Lemna gibba*. **Journal of Botany**, v. 2010, p. 1-9, 2010.

PERREAULT, F. *et al.* Toxicity of pamam-coated gold nanoparticles in different unicellular models. **Environmental Toxicology**, v. 29, p. 328-336, 2014.

PUERARI, R.C. *et al.* Synthesis, characterization and toxicological evaluation of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles using *Daphnia magna* and *Aliivibrio fischeri*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 128, p. 36-43, 2016.

ROSSETTO, A. L. O. F. *et al.* Comparative evaluation of acute and chronic toxicities of CuO nanoparticles and bulk using *Daphnia magna* and *Vibrio fischeri*. **The Science of the Total Environment**, v. 490, p. 807-814, 2014a.

ROSSETTO, A. L. O. F. *et al.* Synthesis, characterization and toxicological evaluation of a core-shell copper oxide/polyaniline nanocomposite. **Chemosphere**, v. 108, p. 107-114, 2014b.

TAVARES, K. P. *et al.* Acute toxicity of copper and chromium oxide nanoparticles to *Daphnia similis*. **Ecotoxicology and Environmental Contamination - EEC**, v. 9, p. 43-50, 2014.





Capítulo VI

**NANOTECNOLOGIAS,  
SOCIEDADE E O MUNDO  
DO TRABALHO**



## Apresentação

*Paulo Martins*

A centralidade do mundo do trabalho é um dos pressupostos que o leitor identifica neste livro. Neste capítulo, são apresentadas as relações entre as nanotecnologias, a sociedade e o mundo do trabalho vistas por pesquisadores sêniores brasileiros e americanos. A Rede Brasileira de Pesquisas em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma) está contemplada com dois textos de seu coordenador, Paulo R. Martins.

No texto *Renanosoma: onde as ciências e o ativismo se encontram*, ele apresenta a concepção de que “a introdução e a disseminação de uma nova tecnologia carrega consigo benefícios e riscos para a sociedade. Configura também a possibilidade de materializar novos segmentos sociais de incluídos e excluídos e a construção de uma ‘nova natureza’ inédita em relação à história recente da humanidade, com repercussões nos ecossistemas naturais deste planeta”.

Essa concepção implica o pressuposto da necessidade de regulação das nanotecnologias. É justamente esta temática que é tratada no segundo texto de Paulo R. Martins, intitulado *Contribuição da Renanosoma ao processo de regulação das nanotecnologias no Brasil (2004/2016)*:

*desde sua fundação, a Renanosoma destaca que a regulação não é um processo técnico para ser resolvido apenas por especialistas, mas, sim, um processo político que envolve vários atores sociais interessados no tema. Desde o início, deixamos claro que já era tempo de se fazer a regulação das nanotecnologias, em vez de usar artifícios para postergá-la.*

Portanto, desde o início, defende-se a regulação a ser feita pelos diversos atores interessados no problema, especialmente os trabalhadores.

Em seu texto *Além do reino de Lilliput: desafios sociais frente às nanotecnologias*, Tania Elias Magno da Silva indica que:

*é preciso discutir as questões éticas e legais que devem regular o uso das nanotecnologias, pois não há certezas quanto às consequências que o emprego das nanotecnologias possa ter para a saúde das pessoas ou para o meio ambiente, trabalha-se neste campo, ainda com muitas incógnitas.*

Alexandre Custódio Pinto e Valéria Ramos Soares Pinto, no texto *O deslocamento do trabalho para o mundo nanomundo* advertem os leitores de que:

*O deslocamento do trabalho para o espaço e tempo do nanomundo precisa, pelo menos, preservar, nos anos de aprendizagem das crianças e jovens, as marcas do caminho dessa viagem – para que cada um indivíduo, cada grupo ou todos tenham a opção de voltar, caso os contornos desse novo mundo não sejam arredondados ou que não se suportem os monstros tenebrosos que serão despertados nessa sedutora viagem.*

Já Gilson Luiz de Oliveira Lima, no texto intitulado *Quanto mais conhecemos mais tomamos consciência dos riscos*, desenvolve uma importante linha de argumentos sobre o risco que o autor considera:

*mais global e que implica no fracasso da reinvenção da modernidade da sociedade industrial para uma nova modernidade reflexiva, por força da resistência dos atores organizados da modernidade industrial, que antes eram modernizadores, tais como empresários, movimentos sociais de massa e sindicais, tornando-se, agora, forças retrógradas, providas de velhos e poderosos recursos.*

A contribuição do pesquisador sênior norte-americano David M. Berube, intitulada *Nanotecnologia e Engajamento Público* alerta que devemos investigar mais sobre o tema:

*O engajamento pode ter valor. Estranhamente, é necessário mais investigação para uma forte afirmação positiva de que a compreensão e enga-*

*jamento público tem um valor inerente. Algumas das observações acima podem servir de ponto de partida para reexaminar as bases para o entendimento público e o engajamento público em ciência.*

As reflexões que abarcam este capítulo podem ser realizadas de diversos aspectos e por diversos atores. Os textos que vêm a seguir são muito mais ricos do que esta apresentação. No entanto, este “aperitivo” do que vem pela frente indica ao leitor o quão desafiadores são os textos que contribuem para avançarmos no conhecimento das relações entre nanotecnologia, sociedade e mundo do trabalho.





## *Além do reino de Lilliput: desafios sociais frente às nanotecnologias*

*Tania Elias Magno da Silva*

No livro *As viagens de Gulliver*, o reino de Lilliput, com seus minúsculos habitantes, surge como produto do fantasioso. O herói Gulliver, um médico inglês aventureiro, preso pelas frágeis criaturas, reage em uma atitude de espanto e desprezo: pequeninos, engraçados, frágeis. Lilliput, em sua minúscula dimensão, não era um reino para se levar a sério nem uma ameaça, pois a grandeza e a força estavam representadas pelo gigante Gulliver. É certo que a imaginação do autor da obra olhava seu tempo e refletia o futuro embasado nas proezas do seu presente, que estava às voltas com o prenúncio da Revolução Industrial.<sup>1</sup> Na época em que a obra foi escrita e publicada, havia fábricas manufactureiras, mas, depois de algumas décadas, estas iriam se transformar em indústrias. Nos séculos XVIII e XIX, os prédios das fábricas eram imensos e pesados como nossos ancestrais dinossauros, ocupavam muito espaço, eram sólidos como se viessem para ter vida eterna, impunham-se como fortalezas, além de requererem muitos operários e muita matéria combustível para funcionarem. Tudo era grandioso. Nada era minúsculo, diminuto, invisível.

Naquele tempo nada incitava o imaginário coletivo para se pensar no mundo das nanopartículas, dos *microchips* e dos aparelhos eletrônicos diminutos apenas manipuláveis por seres liliputianos. Ninguém viajava/sonhava/delirava/encantava-se com o universo de átomos, nêutrons, prótons etc.<sup>2</sup> A revolução científica anunciada naquela época, por meio do imaginário da literatura de ficção, não estava voltada para a que estamos vivendo, produtora de um novo imaginário. Saímos do grandioso, do pesado, do hoje obsoleto, para a nanociência, para o mundo da nanotecnologia. Do manipulável visível, para o manipulável invisível!

---

<sup>1</sup> O início da Revolução Industrial data de 1760, com a primeira fábrica têxtil utilizando um tear movido a vapor, isto na Inglaterra, na cidade de Liverpool.

<sup>2</sup> A Teoria Quântica surge em 1900 com Niels Bohr.

Maravilhoso! Agora, imaginamo-nos capazes de sermos invisíveis aos olhos dos pequenos liliputianos. Nossos aparelhos, armas e instrumentos são muito mais potentes e trabalham com as menores partículas, invisíveis aos olhos humanos e até para as lentes de alguns dos mais avançados microscópios, simplesmente invisíveis, mas manipuláveis. Abandonamos o gigantismo pelo nanismo. Do pesado, duradouro, para o leve, efêmero, fluídico. Da ficção para a realidade: manipular a matéria em nível atômico, induzir moléculas que se auto-organizam e ter em mente que, à medida que se diminui a dimensão e chega-se a uma escala nanométrica da matéria, as propriedades passam a ser diferentes. Tudo parece ser possível nesse mundo novo de escalas nanométricas.

### ***Os desafios a enfrentar***

É crescente o processo de instalação das nanotecnologias nas pesquisas científicas, na produção industrial e na disponibilização de produtos no mercado consumidor (ALDROVANDI, 2014). Dainte desse ampla gama de possibilidades de emprego, do ponto de vista mercadológico, apresentam-se como um investimento seguro e do futuro, razão pela qual:

*é preciso discutir as questões éticas e legais que devem regular o uso das nanotecnologias, pois não há certezas quanto às consequências que o emprego das nanotecnologias possa ter para a saúde das pessoas ou para o meio ambiente, trabalha-se neste campo, ainda com muitas incógnitas. (SILVA; ENGELMANN, 2014, p. 20-21)*

Outro ponto a ser destacado diz respeito à questão regulatória que ainda está em aberto. No entanto, “para que possamos ter um marco regulatório que dê segurança ao consumidor e ao trabalhador, as maravilhas da tecnociência nanotecnológica ainda precisam ser melhor analisadas, especialmente para que se conheça mais sobre seus efeitos nanotoxicológicos” (SILVA; ENGELMANN, 2016, p. 1).

Os avanços das pesquisas nessa área parecem prometer um novo tipo de revolução científica e industrial (GALLO, 2007). É como se

todos os problemas que afligem as sociedades modernas pudessem ser resolvidos como em um passe de mágica. E, nesse ponto, concordamos com o coordenador da Rede de Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), Dr. Paulo Roberto Martins, de que esta tecnologia não está, nem deve estar, acima das críticas quanto aos perigos que pode trazer junto com os benefícios (SILVA; ENGELMANN, 2015, p. 1-2).

Surge um mundo novo na promessa daqueles que investem nesta área do conhecimento. Contudo, como apontam Silva, Premevida e Calazans (2014, p. 174), cabe levantar algumas questões para reflexão:

*Será a nanotecnologia capaz de resolver todas as demandas apresentadas? A que custos? Quem poderá desfrutar dos benefícios trazidos por esta chamada revolução tecnológica? Como conciliar os interesses de mercado, que investe cada vez mais no avanço técnico e científico e os interesses sociais, em especial das populações mais pobres? Quais os impactos que podem advir desta nova tecnologia? [...] Estamos preparados para enfrentá-los?*

Não há respostas prontas para as dúvidas, mas o emprego das nanotecnologias já é uma realidade e é necessário que a sociedade tenha consciência plena do que é esta nova tecnologia e de quais são os possíveis impactos na vida social.

Outra questão que circunda a nossa discussão refere-se aos possíveis efeitos que ela teria nos países pobres e na distribuição da riqueza. Quem fica com o bônus e quem arca com o ônus? Devemos ter em mente que a relação entre ciência, tecnologia e mercado é cada vez mais forte, como nos ensina Edgar Morin (2005, p. 71):

*A ciência produziu uma extraordinária potência associando-se cada vez mais estreitamente com a técnica, cujos desenvolvimentos ininterruptos impulsionam de maneira ininterrupta a economia. Todos esses progressos ligados transformam em profundidade as sociedades. Assim, a ciência é onipresente, com interações-retrações incontáveis em todos os campos, criadora de poderes gi-*

*gantescos e totalmente impotente para controlá-los. O vínculo ciência/técnica/sociedade/política é evidente. A época em que os juízos de valores não podiam interferir na atividade científica está encerrada.*

## ***Nanotecnologia: quando o tamanho é documento***

As nanotecnologias “prospectam a produção de objetos, equipamentos e produtos que estão aproximadamente em torno da escala de 1 a 100 nanômetros (nm), ou seja,  $10^{-9}$  de ordem de grandeza” (ENGELMAN, 2010, p. 299). Esta padronização ainda não está suficientemente esclarecida. No entanto, já se sabe que ocorrem modificações nas propriedades dos produtos quando examinados, manipulados ou consumidos em tal escala. Devemos estar atentos aos riscos que envolvem os produtos nano.

O que há de desconhecido por trás das maravilhas anunciadas, se a questão dos riscos se faz presente nas discussões sobre o emprego das nanotecnologias ao lado de seus possíveis benefícios? (SILVA; ENGELMANN, 2016).

*A nanotecnologia torna possível a fabricação de remédios mais eficientes e aumenta a disponibilidade técnica sobre o funcionamento do corpo humano, o que pode se traduzir também em aumento da mercantilização da saúde humana. À medida que a nanotecnologia aumenta a expectativa de vida de quem pode arcar com os custos do tratamento, a desigualdade econômica traduzida em desigualdade de acesso a tratamentos médicos e remédios fica mais evidente. Do mesmo modo, pode trazer novos riscos à saúde que ainda não foram devidamente considerados, tendo em vista a euforia do mercado [...]. (SILVA; PREMEBI-DA; CALAZANS, 2014, p. 173).*

Quando o tema se volta para as conquistas resultantes da inovação científica e tecnológica e para a possibilidade de ampliar a oferta

de produtos no mercado, sempre resta uma questão pendente (SILVA; ENGELMANN, 2016).

Em função de suas inúmeras probabilidades de aplicação e pelas expectativas de expansão de sua utilização, a nanotecnologia vem ganhando mais e mais o interesse na área dos negócios, e os investimentos privados em pesquisas e na manutenção de laboratórios que desenvolvem estudos nessa área crescem cada vez mais (SILVA; PREMEBIDA; CALAZANS, 2014):

*Muito embora o desenvolvimento da nanotecnologia na área da saúde não responde diretamente à Lei de Moore, sua presença vem aumentando consideravelmente ao redor do mundo e já responde por uma boa parte das pesquisas aplicadas e inovações na área biomédica. Assim são as inovações para o diagnóstico, prevenção e o tratamento de diversas patologias com elevado impacto sanitário e social como, por exemplo, diversos tipos de câncer, malária, HIV, tuberculose, diabetes, cardiopatias, entre outros exemplos, associados ou não a diversos serviços móveis que estão surgindo e revolucionando toda a área, graças às fronteiras alcançadas por meio da mobilidade eletrônica.*

*Pesquisa realizada em 2010, pelo Instituto Nacional de Saúde dos Estados Unidos (NIH), apontava que mais de 50% das inovações biomédicas seriam do setor nanotecnológico. Segundo o Projeto de Nanotecnologias Emergentes, em março de 2011 já estavam disponíveis no mercado mais de 1.300 produtos de base nanotecnológica. Para o ano de 2015, existem estimativas de que 80% do mercado de US\$ 1,5 trilhão (excluindo-se os semicondutores e eletrônicos) corresponderão a aplicações de nanotecnologia para o segmento farmacêutico e de saúde humana.<sup>3</sup>*

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.papoarretado.com.br/post/118-epreendendonanotecnologia-na-saude.html>. Acesso em: 07 julho 2013.

Como apontam Silva, Premebida e Calazans (2014, p. 177):

*A medida que a produção é potencializada pelo avanço tecnocientífico, cresce a oferta de novos e diferentes produtos no mercado, o que gera necessidades sempre crescentes, impulsionadas por um modelo de vida calcado no desejo, no consumo e na volatilidade das coisas.*

O fato é que vivemos um tempo de incertezas diante da certeza de que tudo pode ser possível. E justamente porque tudo pode ser possível e as revoluções científicas não garantem a aplicação desse conhecimento para o bem coletivo, é preciso que a questão ética permeie o debate sobre as consequências reais para o futuro da humanidade decorrentes das novas tecnologias, no caso em pauta, das nanotecnologias (SILVA; ENGELMANN, 2016).

É preciso atentar para as peculiaridades da nanotecnologia e as incertezas que a cercam, pois as características físicas, químicas, óticas, elétricas e magnéticas de materiais convencionais são alteradas quando reformuladas em escalas operadas até, digamos, 100nm. Em tal dimensão, a área superficial de uma mesma massa é maior, oferecendo a possibilidade de reatividade química e efeitos físicos (quânticos) incomuns em escalas maiores (SILVA; ENGELMANN, 2016).

Quando em escala nanométrica, os materiais passam a apresentar propriedades que afetam seus comportamentos físicos, químicos, biológicos e, portanto, toxicológicos. Em vários níveis nano, por exemplo, o ouro muda de cor e até seu ponto de fusão. Se em escala macro ele funde a 1.064 °C, quando dividido em partículas de 5 nm (nanômetros), ele pode fundir a cerca de 830 °C e, se em partículas de cerca de 2 nm, pode ficar líquido a 350 °C (CORTIE, 2004, apud ARCURI; VIEGAS; PINTO, 2014, p. 97).

Ao analisarem os potenciais riscos aos trabalhadores com relação às nanotecnologias, as pesquisadoras da Fundacentro afirmam:

*Apenas com a redução de tamanho e sem alteração de substância, verifica-se que os materiais apresentam novas propriedades e características*

*como resistência, maleabilidade, elasticidade, condutividade e poder de combustão.*

*Assim, conhecer as características das substâncias em tamanho maior não fornece informações compreensíveis sobre suas propriedades no nível nano.*

*Um material considerado “seguro” para ser manuseado em tamanho maior; pode facilmente penetrar na pele na forma de nanopartículas ou se tornar um aerossol e entrar no organismo via respiratória. (ARCURI, VIEGAS, PINTO, 2014, p. 98)*

Ainda que cercadas de incertezas quanto aos potenciais danos que possam acarretar à saúde humana e ao meio ambiente, sua variada aplicação já pode ser comprovada tanto em termos de fármacos para o tratamento de inúmeras doenças, com destaque para alguns tipos de câncer, como em outras áreas, como: produção alimentar, construção civil, fabricação de filtros para a despoluição de rios, mares e oceanos, dessalinização das águas, mecatrônica, indústria da guerra entre outras. Esta vasta gama de aplicação, e que poderá aumentar ao longo de poucos anos, não deve ser ignorada (SILVA; ENGELMANN; CALAZANS, 2014).

Os autores ainda alertam que:

*a urgência do abraço a essas inovações não deve anular o senso de prudência que norteia o contato humano com novidades potencialmente danosas. Ao mesmo tempo em que há estudos apontando para os benefícios potenciais da nanotecnologia, outros ressaltam os riscos, que não podem ser ignorados. A cautela nesse caso é claramente necessária. Essa cautela não necessariamente imobiliza como criticam os que afirmam o prevalecer da urgência sobre a prudência em sociedades capitalistas em competição acirrada. A cautela apenas exige que se enxergue bem o chão em que se corre. (Silva; Engelmann; Calazans, 2014, p. 21-22)*



Como exemplo da necessidade que temos de uma regulação dos produtos com nanotecnologia incorporados, podemos citar a variedade de materiais utilizados em nanoalimentos, como a nanoprata, muito usada por seu efeito antibacteriano. Ela é encontrada em produtos que já estão no mercado, como alimentos, utensílios de cozinha, refrigeradores, embalagens para guardar alimentos (SILVA; ENGELMANN; CALAZANS, 2014). No entanto, ainda há controvérsias em relação ao uso da nanoprata em função de seus possíveis efeitos nocivos à saúde humana.

Como bem destacam os autores, embora não possamos afirmar com segurança se existe perigo no consumo de nanoprodutos:

*...[eles] estão sendo desenvolvidos e colocados à venda no mercado, sem que se possa garantir isenção de risco à saúde e ao meio ambiente. Ou, se existindo riscos, estes poderiam ser controlados de alguma forma. A incerteza sobre os efeitos das nanotecnologias tem gerado uma série de relatórios, projetos de leis, recomendações pelo mundo. Alguns países apresentam uma resistência maior à comercialização dos nanoprodutos, enquanto outros estão empolgados com os benefícios e a possibilidade de desenvolvimento que a nanotecnologia pode proporcionar. (SILVA, ENGELMANN, CALAZANS, 2014, p. 33)*

## *Considerações finais*

As nanotecnologias parecem capazes de resolver muitos dos problemas humanos, no entanto, será fundamental o equacionamento entre as possibilidades e os riscos para que se possa efetivamente fazer uma avaliação concreta de seus resultados. A análise dos impactos sociais, ambientais, humanos, políticos jurídicos e econômicos devem ser levados a sério, sem a sobreposição de um sobre o outro. É preciso estar atento às consequências para o mundo do trabalho e a saúde dos trabalhadores. Por isso, a produção do conhecimento científico e a sua transferência para a indústria devem ser guiadas pela perspectiva ética, como mais um dos impactos a serem considerados (SILVA; ENGELMANN, 2016).



## Referências

ALDROVANDI, A. *et al.* Nanotecnologias aplicadas aos alimentos: construindo modelos jurídicos fundados no princípio da precaução. *In: SILVA, T. E. S.; WAISSMANN, W. (Orgs.). Nanotecnologias, alimentação e biocombustíveis: um olhar transdisciplinar.* Aracaju: Criação. 2014. p. 47-96.

ARCURI, A. S. A.; VIEGAS, M. F. T. F.; PINTO, V. R. S. Nanotecnologia e os potenciais riscos aos trabalhadores. *In: SILVA, T. E. M.; WAISS MANN, W. (Orgs.). Nanotecnologias, alimentação e biocombustíveis: um olhar transdisciplinar.* Aracaju: Criação, 2014. p. 97-124.

BAUMAN, Z. **Modernidade líquida.** Trad. Plínio Dentzien. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2001.

BAUMAN, Z. **Does the richness of the few benefit us all?** UK; Cambridge: Polity, 2013.

CORTIE, M. B. The weird world of nanoscale gold. **Gold Bulletin**, v. 37, n. 1-2, p. 12-19, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF03215512>. Acesso em: 26 maio 2015.

ENGELMANN, W. *et al.* **Nanotecnologias, marcos regulatórios e direito ambiental.** Curitiba: Honoris Causa, 2010.

GALLO, J. G.; GONZÁLES, E.; GOMÉZ-BAQUERO, F. **Nanotecnociência: nociones preliminares sobre el universo nanoscópico.** 2. ed. Bogotá: Buinaima, 2007.

MORIN, E. **O método 6: ética.** 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2005.

SILVA, T. E. M.; CALAZANS, D. R. S.; PREMEBIDA, A. Consequências sociais da nanotecnologia aplicada aos tratamentos médicos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOCIOLOGIA*, 16., 2013, Salvador. **Anais [...]**. Salvador, 2013.

SILVA, T. E. M.; PREMEBIDA, A.; CALAZANS, D. Consequências sociais da nanotecnologia aplicada ao campo da saúde. *In: SILVA, T. E. S.; WAISSMANN, W. (Orgs.). Nanotecnologias, alimentação e biocombustíveis: um olhar transdisciplinar.* Aracaju: Criação. 2014. p. 171-193.

SILVA, T. E. M.; PREMEBIDA, A.; ENGELMANN, W.; CALAZANS, D.R.S. Avanços e desafios do emprego da ciência e tecnologia na produção alimentar: uma discussão sobre transgênicos e nanofoods. *In: CONGRES-*

SO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS E HUMANAS EM SAÚDE, 6., 2013, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: Abrasco, 2013. v. 1, p. 1-18. Disponível em: [http://www.cienciassociaisesaude2013.com.br/programacao/exibe\\_trabalho.php?id\\_trabalho=234&id\\_atividade=209&tipo](http://www.cienciassociaisesaude2013.com.br/programacao/exibe_trabalho.php?id_trabalho=234&id_atividade=209&tipo). Acesso em: 26 abr. 2015.

SILVA, T. E. M.; ENGELMANN, W. Nanotecnologia, desenvolvimento e ética: que futuro nos espera? *In*: CONGRESSO DE LA ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE SOCIOLOGIA, 30., 2015, Costa Rica. **Acta Académica – Memoria de Ponencias**. Costa Rica: ALAS, 2016. Disponível em: <http://sociologia-alas.org/congreso-xxx/ponencias/>. Acesso em: 10 maio 2019.

SILVA, T. E. M.; ENGELMANN, W.; CALAZANS, D. R. S. Desenvolvimento, modernidade e nanotecnologias: inovações no campo alimentar. *In*: SILVA, T. E. S.; WAISSMANN, W. (Orgs.). **Nanotecnologias alimentação e biocombustíveis: um olhar transdisciplinar**. Aracaju: Criação. 2014. p. 11-46.

## *O deslocamento do trabalho para o nanomundo*

*Alexandre Custódio Pinto; Valéria Ramos Soares Pinto*

*O artificial requer apenas um restrito espaço.  
(GOETHE. Fausto, 1889)*

A nanotecnologia tem sido apontada como uma nova revolução industrial. Estão previstos profundos impactos nos modos de produção, nas relações de trabalho e em todas as esferas da vida humana (ETC GROUP 2003; PINTO, 2008). De fato, manipular estruturas, energias e processos de transformação em escala nanotecnométrica abre um conjunto de possibilidades de interferência em todo o mundo do trabalho e na organização social como nunca antes foi sonhado pela humanidade.

Nos primórdios da história, o homem vivia sob o jugo das forças da natureza. Os modos de obtenção de alimentos, a pesca, a caça e a coleta de frutas e raízes dependiam de conhecimentos ancestrais transmitidos dos mais velhos para os mais novos, de boca a ouvido. No âmbito do planejamento das atividades humanas, a agricultura e a astronomia foram ciências irmãs que utilizaram como suporte a mitologia, os contos, as lendas ou outras formas de transmissão oral capazes de fazer acumular saberes por muitas e muitas gerações. O tempo da organização do trabalho obedecia aos ritmos da natureza, ao ano das Estrelas Fixas, à semana da Lua e ao dia do Sol em seu giro diário em torno da Terra. Os eventos de dimensões mais amplas é que ditavam o modo como os povos organizavam suas culturas, suas economias e seus sistemas de governo, como as cheias dos rios, as estações do ano, as épocas de cada cultura de plantas, os calendários, festividades etc. O mundo do trabalho coletivo era muito maior e mais rico culturalmente que as dimensões da vida de um homem individualmente.

A meio caminho entre a época descrita e os tempos atuais, foram introduzidas grandes transformações no vínculo ou convivência do ser humano com o trabalho (BERMAN, 1982). A dependência do homem com relação aos fenômenos naturais foi cada vez mais diminuída. Foram dominadas as matérias-primas, as fontes de energia, e introduzidos

muitos processos industriais: a máquina a vapor, o motor à combustão, as ferrovias, os combustíveis fósseis, a eletricidade e o uso da energia nuclear. O trabalho esparramou-se pelas brechas entre a natureza e o consumo, diminuindo potencialmente a cansaço humana e aumentando em muito as especializações de sua atuação. Do campo, nasceram os trabalhos industriais de processamento de matérias e energias; do comércio, surgiram os serviços; e das atividades administrativas, as corporações, as agremiações e os muitos tipos de organizações sociais. Dos artífices aos operários (SENNETT, 2012), a organização social e produtiva passou a ser conduzida pelas próprias forças criativas humanas: a escravidão, a servidão, o capitalismo, o fordismo, o toyotismo, a economia solidária etc. O mundo do trabalho passou a ter o mesmo tamanho das dimensões da vida de um homem. A vida passou a ter uma interdependência com o trabalho, a natureza e o mundo.

Atualmente, no terceiro ponto desta observação do mundo do trabalho, estamos começando a experimentar uma nova fase de organização produtiva e social que acelera muito o processo de redução das dimensões e a ampliação das especializações. Sob o ponto de vista da base material, as nanotecnologias são, assim, o suporte e o motor de um amplo conjunto de transformações produtivas e sociais. Forças e processos contidos no interior da matéria começam a ser apropriados para a produção de bens e serviços. O tempo de produção começa a ser instantâneo e as dimensões de atuação humana atingem a esfera do infinitamente pequeno e invisível. Enfim, as dimensões dos fenômenos e dos processos envolvidos estão se tornando muito menores do que os sentidos humanos podem perceber, o que torna as especializações de atuação sobre o trabalho incrivelmente dinâmicas e voláteis (ETC GROUP, 2003).

Foi nesse sentido que Richard Feynman sugeriu, em sua célebre palestra para estudantes de engenharia em 1959: *there's plenty of room at the bottom* – existe uma nova fronteira para dentro da matéria a ser explorada. O propósito da tecnologia de nanoescala é exatamente reduzir os processos de transformação e construção a uma escala invisível aos olhos e insensível ao tato humano!

Na colonização desse novo mundo, é transferida para os interstícios da intimidade da matéria toda atividade que antes utilizava a força de trabalho das mãos humanas. Também muitos processos e serviços

especializados estão sendo incorporados em unidades produtivas cada vez menores e que, em breve, pretende-se transformar em uma função ou aplicativo de equipamentos gradativamente mais multifuncionais. Basta dar uma rápida olhada em um equipamento portátil de comunicação individual disponível hoje em dia para se verificar a quantidade de aparelhos, instrumentos, funções, dispositivos e serviços que ele incorpora. Cadeias inteiras de produtos ficam cada dia mais dispensáveis: relógio, calendário, termômetro, rádio, televisão, telefone, máquina fotográfica, agenda, caderno de notas, livro, game etc. Tudo o que envolve a informação está sendo transformado em aplicativo e passa a estar amplamente disponível em um toque, comando de voz ou movido por algoritmos autônomos que pretendem antecipar e decidir tarefas para as demandas e necessidades humanas individuais ou de determinados coletivos específicos associados em comunidades ou grupos.

A nanotecnologia pretende o controle das propriedades físico-químicas dos materiais, organizando-os de dentro para fora e de baixo para cima (*bottom-up*). Isso possibilita a obtenção de propriedades facilmente ajustáveis, como controle de flexibilidade, dureza, cor, textura, sabor, temperatura, condutibilidade, densidade, penetrabilidade, maleabilidade, magnetismo, combustão, entre outras. A virtualização dos dispositivos de comunicação é apenas o primeiro passo dessa incrível viagem ao interior da matéria.

No percurso de transformações potenciais da nanotecnologia, está prevista essa mesma fluidez nos processos de fabricação, montagem e desmontagem para materiais, eletrodomésticos, móveis, roupas, casas, automóveis e todos os produtos imagináveis, inclusive alimentos e medicamentos. O propósito é reconfigurar tão rapidamente a estrutura e forma das coisas como se faz hoje para um ambiente virtual de um computador pessoal, mudando-lhe uma nova função instantaneamente conforme a demanda.

Essa nova lógica do trabalho elimina as cadeias produtivas e os serviços de logística e reduz infinitamente os postos de trabalhos a cada função incorporada ao universo do invisível. O domínio sobre as propriedades da matéria permite modificar radicalmente as economias e indústrias primárias de obtenção e transformação de minérios e toda a lógica das commodities (ETC GROUP, 2005). Pretende-se desvincular, por exemplo, a produção de alimentos, medicamentos, roupas e outros materiais que hoje são “orgânicos” dos campos agrícolas e pecuários.



A fabricação desses novos produtos que assumem em um só a função de muitos outros irá não só reduzir a quantidade de trabalhadores envolvidos diretamente, mas todos os que trabalhavam na cadeia produtiva daqueles que irão desaparecer, ou seja, em sua produção, seu transporte, seu armazenamento, sua comercialização, seu descarte, sua reciclagem etc. Também é preciso considerar os deslocamentos físicos dessas demandas de trabalho, implicando a migração dos trabalhadores envolvidos, uma vez que deixa de existir a dependência dos recursos naturais locais, possibilitando a transferência das instalações industriais para outras regiões (FOLADORI, 2007). Pretende-se incorporar ao mundo da nanotecnologia, gradativamente, todas as dimensões do trabalho.

No caso dos serviços, grande parte das competências e dos conhecimentos específicos que antes era nucleada por um especialista humano passa a ser incorporada em um sistema que junta produção, comércio, instalação, assessoria, gestão compartilhada, atualização, customização e flexibilização. As comunidades sociais, os grupos de apoio virtuais, as redes de colaboração e as pesquisas são precursores desse movimento migratório.

A despeito das promessas, ter uma nova tecnologia disponível não significa que ela será adotada amplamente para a finalidade para a qual foi descoberta ou desenvolvida. Hoje, máquinas simples, como a roda, a alavanca e o plano inclinado, estudadas há mais de dois mil anos, são negligenciadas do modo escandaloso no planejamento do uso da força na construção civil, por exemplo. Comunidades inteiras sofrem de doenças conhecidas e perfeitamente evitáveis pela falta de saneamento básico em muitas regiões do mundo etc. Em grande parte, a fome, a pobreza, as desigualdades sociais são hoje mais um resultado do desenvolvimento tecnológico do que uma de suas limitações.

Frente a esse *tsunami* nas relações de trabalho, as organizações sindicais dos trabalhadores têm demonstrado um tímido, mas importante, despertar para sua atuação não passiva frente às transformações que estão ocorrendo (MATTEDI, 2011). A participação social sobre as pesquisas e a implementação das nanotecnologias nos processos produtivos é uma demanda dos trabalhadores. Na resolução do Etuc (2008), é evocado maior investimento, no sentido de sua viabilidade.

A opinião dos trabalhadores, equivocadamente, por mais que seja representativa da maioria da sociedade, não tem sido considerada qualificada para tomada de decisões sobre política e prioridades em ciência e tecnologia. Entretanto, são os que mais sofrem os impactos ambientais, sociais e econômicos das decisões tomadas nas esferas executivas e legislativas em regimes democráticos representativos, sob pressão de tecnocratas e empresários (RATTNER, 2006):

*[...] os neurocientistas estão desenvolvendo estratégias que poderão manipular os interesses e as destrezas de trabalhadores (inclusive soldados), e que também poderão reduzir a necessidade de trabalhadores se a chamada “interface homem/máquina”, com redes neurais cognitivas, tornar possível o manejo de sistemas industriais e agrícolas complexos. Se se pode fazer isso, também é possível ganhar eleições, ou então acabar de vez com toda a “democracia”. (MONEY, 2002, p. 117)*

Os conhecimentos superespecializados das nanotecnologias, como já ressaltamos em artigo anterior (PINTO, A. C.; VIEGAS, M. F. T. F.; PINTO, V. R. S., 2013), agem predatoriamente como fortes dominadores culturais sobre princípios, valores e propósitos tradicionais. A cada novo avanço tecnocientífico, as crenças das pessoas comuns em seus próprios valores, conhecimentos e ideias de suas experiências pessoais de vida, de sua comunidade, de seus vizinhos e dos profissionais de sua atuação são progressivamente destruídas. Os modos de aprender tradicionais e os conhecimentos comunitários são também descartados mesmo quando apresentam soluções mais seguras e confortáveis para os mesmos problemas apontados como alvo por essas novas tecnologias. Depois de algumas gerações, por não caberem no novo universo tecnológico ou por não serem sistematizáveis, áreas inteiras de saber popular e tradicional estão sendo extintas da cultura material (SENNET, 2012).

A atuação humana não participa do fazer na escala em que funcionam as nanotecnologias e, por isso, o *status* do homem da ação é diminuído pelo ideal da automontagem, conduzindo-o à condição de *Homo faber* e até de *Animal laborans* no sentido do pensamento

de Hannah Arendt (ARENDR, 2004). O homem, assim, é levado a um isolamento sem precedentes – o que o desvincula do mundo dos objetos e dos outros homens –, à perda da experiência humana e a uma conduta “entorpecida e tranquilizada” (ARENDR, 2004 p. 335), “último estágio de uma sociedade de operários” (ARENDR, 2004, p. 355).

A separação do homem de seu fazer manual, ou seja, do mundo do trabalho, proporcionada pelo advento da nanotecnologia, produz, como efeito colateral, a redução significativa dos valores artísticos, estéticos e culturais até então conhecidos. Além dos impactos econômicos e de organização social, as manifestações culturais essencialmente humanas, tal qual conhecemos, estão ameaçadas pelo desenvolvimento tecnocientífico das nanotecnologias em sua trajetória atual. O modo alternativo mais prudente para se percorrer esse caminho seria adotar como princípio que:

*um novo conhecimento só deve ser introduzido depois de se explorar o conhecimento e as experiências próprias, para que esse conhecimento ou o conhecimento especializado possa complementar e expandir o que as pessoas já sabem, em vez de ignorar, negar ou substituir o conhecido, como geralmente acontece. (REELER 2009, p. 159)*

Mesmo que os trabalhadores e suas organizações não despertem a tempo de corrigir a colonização desenfreada e sem critérios dos interstícios desse novo mundo que habita o interior da matéria, é urgente ao menos que se preserve o que a natureza e a humanidade desenvolveram ao longo de suas existências na face da Terra. Por isso, é de fundamental importância que a educação, desde o berço até a universidade, estruture-se, ao máximo, nos modos de pensar, sentir e fazer dos estágios, saberes e épocas culturais precedentes à nossa (STEINER, 1960). O deslocamento do trabalho para o espaço e o tempo do nanomundo precisa, pelo menos, preservar, nos anos de aprendizagem das crianças e jovens, as marcas do caminho dessa viagem – para que cada indivíduo, cada grupo ou todos tenham a opção de voltar, caso os contornos desse novo mundo não sejam arredondados ou que não se suportem os monstros tenebrosos que serão despertados nessa sedutora viagem.

## Referências

ARENDDT, H. **A condição humana**. 10. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2004.

BERMAN, M. **Tudo que é sólido desmancha no ar**: a aventura da modernidade. Trad. Carlos Felipe Moisés e Ana Maria L. Ioriatti. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

PINTO, A. C. **Nanotecnologia**: o transporte para um novo universo. São Paulo: Fundacentro, 2008.

PINTO, A. C.; VIEGAS, M. F. T. F.; PINTO, V. R. S. HQs como porta de acesso de trabalhadores ao debate sobre as nanotecnologias e suas consequências. *In*: JORNADAS INTERNACIONAIS DE HISTÓRIAS EM QUADRINHOS, 2., 2013, São Paulo. **Anais Eletrônicos** [...]. São Paulo: ECA-USP, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/2M3pqhl>. Acesso em: 24 maio 2019.

ETC GROUP. Size matters II!: the case for a global moratorium. **Occasional Paper Series**, v. 7, n. 1, 2003.

ETC GROUP. **The big down**: atomtech – technologies converging at the nanoscale. ETC GROUP, 2003.

ETC GROUP. **The potential impacts of nano-scale technologies on commodity markets: the implications for commodity dependent developing countries: report prepared for the south centre**. ETC GROUP, 2005.

ETUC. **ETUC resolution on nanotechnology and nanomaterials**. ETUC, 2008.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. **Nanotecnologia**: os trabalhadores da alimentação e da agricultura questionam as nanotecnologias. Relans, 2007. Disponível em: [http://www6.rel-uita.org/nanotecnologia/trabajadores\\_cuestionan\\_nano-por.htm](http://www6.rel-uita.org/nanotecnologia/trabajadores_cuestionan_nano-por.htm). Acesso em: 16 maio 2019.

GOETHE, J.W. **Fausto**. Trad. Jenny Klabin Segall. Belo Horizonte: Itatiaia, 2002.

MATTEDI, M.; MARTINS, P. R.; PREMEBIDA, A. A nanotecnologia como tecnociência: contribuições da abordagem sociológica para o entendimento das relações entre nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. **Pensamento Plural (Ufpel)**, v. 9, p. 130-155, 2011.

MOONEY, P. **O século 21**: erosão, transformação tecnológica e concentração do poder empresarial. São Paulo: Expressão Popular, 2002.

RATTNER, H. De mega projetos e inovações tecnológicas à nanotecnologia: custos sociais ocultos. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NANOTECNOLOGIA E OS TRABALHADORES, 1., Iiep, 2006. Disponível em: <http://nanotecnologiadoavesso.org/sites/default/files/LIVRO%20III%20SEMINANOSOMA.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

REELER, D.; BLERK, R.; TAYLOR, J. **Guia pés descalços**: para trabalhar com organizações e mudança social. Editor e cartunista: Andy Mason (N. D. Mazin). África do Sul: Community Development Resource Association, 2009.

SENNETT, R. **O artífice**. 3. ed. Trad. Clovis Marques. Rio de Janeiro: Record, 2012.

STEINER, R. **O estudo do homem, uma base para a pedagogia**. Trad. Rudolf Lanz, Jacira Cardoso. São Paulo: Antroposófica, 2003. (A arte da educação, v. 1)

# *Renanosoma: onde as ciências e ativismo se encontram*<sup>4</sup>

*Paulo Roberto Martins*

## *Introdução*

Este texto expressa um exercício de memória e de pesquisa de um particular membro da Rede Brasileira de Pesquisas em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), seu fundador e coordenador até a segunda quinzena de julho de 2016, período de escrita deste texto. Embora tenha estado presente de maneira intensa em toda a vida da Renanosoma,<sup>5</sup> certamente este texto não será completo, porque as inúmeras atividades realizadas por esta rede seriam bem melhor retratadas em sua riqueza caso o texto fosse de autoria coletiva, em que cada participante deste processo contribuiria com sua memória sobre a trajetória de realizações da Renanosoma. Portanto, este é um texto em contínuo aprimoramento, e o que aqui se publica é uma “foto” do desenvolvimento e das ações da Renanosoma.

## *Antecedentes*

A primeira origem da Renanosoma encontra-se na reunião da sociedade civil organizada na forma planetária, denominada Fórum Social Mundial. Na edição de 2003, em Porto Alegre, assisti à oficina realizada pelo Etcgroup, na qual não mais se falou sobre biotecnologia, mas, sim, sobre nanotecnologia.

A segunda origem está relacionada, ainda em 2003, com minha ida à reunião da Rede de Pesquisas em Nanotecnologia denominada

---

<sup>4</sup> Texto extraído de: MARTINS, P. R. Renanosoma: onde as ciências e ativismo se encontram. In: LANDA, O. R. et al. *Poder constituyente y luchas ambientales*: hacia una red de redes em América Latina. Córdoba: Red de Redes por la Justicia Ambiental, 2014. p. 156-178.

<sup>5</sup> Conheça mais em: [www.nanotecnologiadoavesso.org](http://www.nanotecnologiadoavesso.org)

“Nanoseminat”, realizada, em Natal (RN). Descobri o e-mail do coordenador do evento, prof. Eronides F.S. Junior, e com ele acertei minha ida a este evento, com a devida isenção da taxa de inscrição. Por fim, cabe realçar que, em 2004, antes da constituição da Renanosoma, o autor deste texto e outros colegas (Marcos Mattedi, Sonia Dalcomuni, Tania Magno, Edmilson Lopes Junior) participaram do edital MCT/CNPq 13/2004 – único até julho de 2016 – destinado a estudos de impactos da nanotecnologia. O único projeto aprovado foi o intitulado *Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente nos Estados de São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal*.

## **2004 – O ano de formação**

O ano de 2004 foi de preparação/organização do I *Seminário Internacional Nanotecnologia Sociedade e Meio Ambiente – I Semnanosoma* (18 e 19 de outubro de 2014), em que a Renanosoma foi constituída com um traço peculiar em relação às demais redes de nanotecnologia. Isso porque a ambição dela não é fazer nanotecnologia como as demais faziam, mas a tornar um objeto de reflexão e pesquisa também das Ciências Humanas no Brasil e estimular todas as iniciativas nesse sentido. Outra característica importante é que a Renanosoma é uma rede de pessoas e não de instituições. As concepções para a organização de um seminário deste tipo foram explicitadas no folder do seminário:

*A introdução e a disseminação de uma nova tecnologia carrega consigo benefícios e riscos para a sociedade. Configura também a possibilidade de materializar novos segmentos sociais de incluídos e excluídos e a construção de uma ‘nova natureza’ inédita com relação à história recente da humanidade, com repercussões nos ecossistemas naturais deste planeta.*

*Os cientistas produtores de nanociência e da nanotecnologia encontram-se em uma posição central no que se relaciona ao futuro de nossas sociedades. Enquanto produtores de conhecimento e de tecnologia podem contribuir para a transformação delas, ao mesmo tempo sofrem os*

*impactos desta nova tecnologia como cidadãos de suas comunidades.*

*Também é de fundamental importância para a sociedade brasileira que as opções tecnológicas a serem assumidas pelo país sejam debatidas não só por especialistas, cientistas e tecnólogos, mas também por toda sociedade.*

Essas concepções levaram a colocar como temas a serem discutidos neste *I Seminário* as relações entre nanotecnologia, inovação e sociedade, economia, meio ambiente e regulação de novas tecnologias. Os resultados deste seminário foram publicados no livro *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente: 1º Seminário Internacional*.

## ***2005 –Ano de início das atividades***

Constituída a Renanosoma, sua primeira atividade enquanto rede de pesquisa em nanotecnologia, sociedade e meio ambiente que nasceu com o objetivo de ser o espaço de reflexão, produção de conhecimentos onde as ciências e o ativismo se encontram foi justamente no V Fórum Social Mundial, realizado em janeiro de 2005, na cidade de Porto Alegre. Nossa atividade foi realizada no dia 28 daquele mês, das 12h às 18h30, portanto, mais de 6h de atividades contínuas sobre o tema *Novas tecnologias para um novo mundo possível: é a nanotecnologia uma nova solução?*

Informações relativas à atividade indicam a presença de convidados internacionais e nacionais. Ressalta-se a de Renzo Tomellini, então chefe de Nanociência e Nanotecnologia da União Europeia, e de Pat Mooney, diretor do Etcgroup. Este foi um encontro histórico entre um dirigente de Nanotecnologia da União Europeia e um representante da sociedade civil organizada e globalizada. Nota-se, também, que, desde sua primeira atividade, a Renanosoma vem organizando suas atividades com a presença de entidades ligadas aos trabalhadores. Neste primeiro evento, esteve presente na organização o Sindicato dos Sociólogos do Estado de São Paulo.



No plano internacional desde 2005, estamos realizando atividades (oficinas) em todas as edições do Fórum Social Mundial no Brasil e em outros países, como Venezuela, Senegal e Tunísia (aqui em duas oportunidades). Em 2014 e 2015, a Renanosoma deu um salto ao colocar suas oficinas na internet de tal forma que diversas cidades brasileiras fizeram – em 2014 – atividades que resultaram na reprodução *on-line* daquelas ocorridas em Túnis, na Tunísia, durante o Fórum Social Mundial. Em 2015, fizemos o inverso, transmitindo *on-line* para Túnis atividades realizadas em São Paulo (SP) e São Leopoldo (RS), dentro das atividades denominadas Fórum Social Mundial Expandido. Em continuidade, oficinas sobre nanotecnologia foram realizadas no Fórum Social Mundial de 2016, em Montreal, no Canadá, de 9 a 14 de agosto.

Depois das atividades no V Fórum Social Mundial de 2005 já descritas, a Renanosoma dedicou-se a elaborar projeto para o edital MCT/CNPq 29/2005 para a constituição de dez redes de pesquisas em nanotecnologia. Encaminhamos nossa proposta, que não foi aprovada. A história deste evento – e de outros – está descrita no livro *Revolução invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil*.<sup>6</sup>

Dado o conjunto de restrições à Renanosoma que vinham sendo colocadas pelo MCT/CNPq, começamos a traçar uma parceria com o Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural (Nead)/Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA). Foi graças ao apoio desta instituição que conseguimos realizar os Seminanosomas subsequentes: São Paulo (2005); São Paulo (2006); Vitória (2007); Natal (2008); Manaus (2009); Rio de Janeiro (2010) – realizado com apoio fundamental da Fiocruz; e Porto Alegre (2011) – recebeu apoio da Fapergs e Correios; São Paulo (2012) – contou com apoio dos Correios. A partir de São Paulo (2013), passamos a ter apoio do CNPq e do Capes. O mesmo aconteceu em São Leopoldo (2014) e Aracaju (2015). Para o Chapecó (2016), não tivemos recursos federais, somente da Fapesc.

Também foi via Nead que transformamos em livro tudo aquilo que ocorreu no II e III Seminanosomas. As obras estão disponíveis no site da Renanosoma para consulta pública e download. Os demais seminários estão registrados na forma de mídia eletrônica (DVD).

---

<sup>6</sup> MARTINS, P. R. (coord.). *Revolução invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil*. São Paulo: Xamã, 2007.

Ao Neda, apresentamos o projeto de pesquisa *Estudo sobre os impactos da nanotecnologia na cadeia produtiva da soja brasileira*. Ele também foi aprovado, e o realizamos de maio de 2007 a maio de 2009, sendo materializado no livro *Impactos da nanotecnologia na cadeia da soja brasileira*, disponível para consulta pública e *download* no site da Renanosoma.

Outro fator importante da realização dos diversos Seminários ao longo de mais de uma década de existência foi a incorporação de mais pesquisadores. Duas adesões merecem destaque. Uma é da Fundacentro – órgão de pesquisas do então Ministério de Trabalho e Previdência<sup>7</sup> com 50 anos de existência produzindo conhecimento sobre saúde e segurança dos trabalhadores – que iniciou, em 2007, seu projeto de nanotecnologia e, com isso, muitos dos pesquisadores pertencentes a seu projeto passaram também a participar da Renanosoma, em especial a pesquisadora sênior, coordenadora do projeto nanotecnologia, Dra. Arline Arcuri.

Com a incorporação de pesquisadores da Fundacentro, a Renanosoma efetivamente se tornou uma rede, com a presença de membros oriundos de todas as ciências, colocando em prática a visão de que as nanotecnologias devem ser estudadas multidisciplinarmente, envolvendo todas as ciências em que se faça presentes. A partir desta integração, uma forte parceria entre a Renanosoma e a Fundacentro foi estabelecida, de tal forma que centenas de atividades já foram realizadas conjuntamente.

Em especial, registramos aqui que um dos trabalhos fundamentais realizados pela Fundacentro, via projeto nanotecnologia, são as cinco histórias em quadrinhos sobre nanotecnologia produzidas em português, espanhol e inglês.<sup>8</sup> Essas HQs visam a colaborar no processo de informação e discussão com o público não especialista, em especial os trabalhadores.

---

<sup>7</sup> A partir de 2019, passou a integrar o Ministério da Economia.

<sup>8</sup> A série “Nanotecnologia em quadrinhos” tem 5 HQs fruto do projeto “Impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e meio ambiente”, desenvolvido pela Fundacentro em parceria com Renanosoma, Dieese, Diesat, Iiep, Sindicato dos Químicos do ABC, Sindicato dos Metalúrgicos de Osasco, Instituto Observatório Nacional, Escola Nacional de Saúde Pública da Fiocruz e Cerest-SP. Todas estão disponíveis para *download* na biblioteca da Fundacentro, em: [http://biblioteca.fundacentro.gov.br/primo-explore/search?vid=FJD&lang=pt\\_BR](http://biblioteca.fundacentro.gov.br/primo-explore/search?vid=FJD&lang=pt_BR).

A segunda adesão importante ocorreu em duas etapas, mas ambas com pesquisadores da área do Direito que passaram a trabalhar com o tema da nanotecnologia em suas instituições. Wilson Engelmann, professor doutor da Faculdade de Direito da Unisinos (RS), passou a pesquisar nanotecnologia e regulação, bem como a formar mestres e doutores no programa de pós-graduação em Direito dessa universidade. Sua adesão à Renanosoma e a de membros do grupo coordenado por ele, denominado Jusnano, ocorreu em outubro de 2010, quando teve a oportunidade de participar do *VII Seminanosoma*, realizado no Rio de Janeiro. Em 2012, por ocasião do *IX Seminanosoma*, realizado na cidade de São Paulo, a Renanosoma passou a contar com outro núcleo de formação em Direito, Nanotecnologia e Regulação, por intermédio do professor doutor Reginaldo Pereira, da Unochapecó (SC).

Estas adesões de pesquisadores de três instituições importantes no panorama brasileiro fizeram com que a Renanosoma se consolidasse como rede com cerca de 30 pesquisadores em 2016, oriundos de todas as ciências. Isso fez com que tivéssemos a capacidade de produzir conhecimentos sobre nanotecnologia de forma efetivamente multidisciplinar.

Outra linha de atuação da Renanosoma vem sendo desenvolvida desde o fim de 2006. Sua origem está no projeto aprovado no edital MCT/CNPq 12/2006 destinado a apoio a projetos de difusão e popularização da ciência e da tecnologia. O projeto encaminhado pelo autor deste texto, intitulado *Engajamento público em nanotecnologia*, foi realizado de novembro/2006 a abril de 2009, com recursos de R\$ 87.225,87. Portanto, os trabalhos da Renanosoma, depois de abril de 2009, têm sido realizados sem qualquer tipo de apoio de recursos públicos oriundos de editais do CNPq ou de outras agências de fomento.

O projeto teve duas vertentes. Uma de atividades virtuais e outra de atividades presenciais. As virtuais começaram via bate-papos virtuais (*chats*) com pesquisadores que produziam conhecimentos sobre nanotecnologia. Foram realizados 164 *chats*, que se encontram disponíveis no site da Renanosoma.<sup>9</sup>

Em janeiro de 2009, foi dado um salto nesta forma de ação virtual. Passamos, então, a realizar um programa de TV pela internet – na emissora ALLTV – denominado *Nanotecnologia do avesso*.

---

<sup>9</sup> Conheça em: [www.nanotecnologiadoavesso.org](http://www.nanotecnologiadoavesso.org)

Ficamos na ALLTV e 2009 a 2011. A partir de janeiro de 2012, até final de dezembro de 2013, realizamos os programas junto com o Centro de Computação Eletrônica/Laboratório de Multimídia, da Universidade de São Paulo.

O ano de 2014 também marca uma nova etapa na produção e na execução dos programas de TV pela internet. Com a colaboração técnica de um experiente ativista da internet livre, passamos a realizá-los na forma de uma produção independente, em que a geração do programa se dá em qualquer local com um ponto de internet em que possa ser conectado nosso *notebook*. Para tanto, usa-se o *software* livre Linux e um conjunto de instruções que permitem a produção de stream e sua disponibilização on-line no site da Renanosoma, permitindo assim que os programas possam ser vistos por qualquer pessoa conectada à internet.

Em parceria com o Sindicato dos Professores da Rede Oficial de Ensino do Estado de São Paulo (Apeoesp) – a Renanosoma já organizou seis cursos sobre nanotecnologia para os professores do ensino médio –, passamos a transmitir nosso novo programa, *Nano Alerta*, diretamente dos estúdios da Apeoesp (que ajudamos a construir), toda segunda-feira, das 11h às 12h.

De 2007 até 2016, já realizamos 164 *chats*, 364 programas *Nanotecnologia do Avesso* e 118 programas *Nano Alerta*.<sup>10</sup> Portanto, foram 646 atividades virtuais programadas. Nem todas foram realizadas por falta de energia, problemas com a internet, com o Skype etc. Mas, com certeza, pelo menos 600 entrevistas foram realizadas, sendo que a maioria delas está disponível para acesso público no site da Renanosoma<sup>11</sup> e no Youtube, no canal Nano WebTV.<sup>12</sup>

A parte presencial deste projeto de “engajamento público em nanotecnologia” foi a realização de seminários, oficinas, mesas-redondas e palestras em diversas instituições cidades. Assim, realizamos atividades presenciais nas cidades de Porto Alegre, Florianópolis, Blumenau, Itajaí, Curitiba, Cascavel, São Paulo, Ribeirão Preto, Sorocaba, Campinas, Volta Redonda, Rio de Janeiro, Vitória, Salvador, Aracaju, Recife, Natal, Belém, Manaus, Campo Grande, Brasília e Cacoal.

---

<sup>10</sup> Em 2019, somam 254 programas *Nano alerta* e 500 programas *Nanotecnologia do Avesso*.

<sup>11</sup> Conheça em [www.nanotecnologiadoavesso.org](http://www.nanotecnologiadoavesso.org)

<sup>12</sup> Conheça em: <https://www.youtube.com/channel/UC7EqH71Q3e8mgOTIKeOExbw>

Não há, no desenvolvimento das nanotecnologias, experiência semelhante à da Renanosoma no panorama brasileiro no período de 2000 a 2016, em que a ciência e o ativismo se encontram para incrementar o grau de conhecimento científico da sociedade brasileira, em especial dos trabalhadores. Com isso, torna os não especialistas em um ator importante no controle social do desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil.

## ***Contribuição da Renanosoma ao processo de regulação das nanotecnologias no Brasil (2004-2016)***

Paulo Roberto Martins

*Será que eu falei o que ninguém ouvia? Será que eu escutei o que ninguém dizia? (“Não vou me adaptar”, de Arnaldo Antunes, Titãs, álbum Televisão, 1985)*

A primeira mesa redonda do *I Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Seminanosoma)*, realizado em outubro de 2004, em São Paulo, teve como tema *Nanotecnologia, C&T e regulação de novas tecnologias*. O Seminário marcou a criação da Rede Brasileira de Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), que, portanto, já nasceu tendo como uma de suas preocupações centrais o debate sobre a regulação das tecnologias, em especial das nanotecnologias.

Nasceu também estabelecendo uma relação entre regulação e direitos humanos, conforme expresso pela palestrante Eliane Cristina Pinto Moreira, que assim se manifestou durante o *I Seminanosoma*:

*Alguns falam – e eu já adotei esta percepção – de que se forma uma quarta geração de Direitos Humanos [...] caracterizada pelo direito de resistir ao mau uso do conhecimento científico-tecnológico. Então o cerne é esse próprio direito de resistência e é em função disso que se clama por regulamentações (MARTINS, 2005, p. 39)*

Na mesma ocasião, o debatedor Kenneth Gould já alertava para o atraso em se regulamentar as nanotecnologias e seus desdobramentos:

*A pesquisa, o desenvolvimento, a agenda e as prioridades já foram definidos, de uma forma bastante antidemocrática, sem o envolvimento público. Mencionamos aqui a ignorância deste, que não foi introduzido nessas questões até o mo-*

*mento. Por isso nos perguntamos: qual é o significado de governança democrática? (MARTINS, 2005, p. 58)*

Portanto, desde sua fundação, a Renanosoma destaca que a regulação não é um processo técnico para ser resolvido apenas por especialistas, mas, sim, um processo político que envolve vários atores sociais interessados no tema. Desde o início, deixamos claro que já era tempo de se fazer a regulação das nanotecnologias, em vez de usar artifícios para postergá-la.

Essa discussão continuou presente no *II Seminariosoma*, em 2005, com a mesa-redonda *Nanotecnologia, inovação e regulação*, coordenada pelo então deputado federal do PV-BA, Edson Duarte, autor do Projeto de Lei nº 5.076/2005, que dispunha sobre a pesquisa e o uso de nanotecnologia no país, criava a Comissão Técnica Nacional de Nanosegurança (CTNano), instituía o Fundo de Desenvolvimento da Nanotecnologia e dava outras providências. Iniciávamos, assim, a colaboração da Renanosoma com representantes parlamentares no processo de construção da regulação das nanotecnologias no Brasil.

No *II Seminariosoma*, novamente contamos com a colaboração de Eliane Moreira, que apontava para discursos que eram e continuam sendo utilizados para postergar o processo de regulação das nanotecnologias:

*São recorrentes os argumentos como “sempre existiu”; “vai resolver os problemas da humanidade, a fome, a miséria, o saneamento etc.”; “quem não aceitar esta tecnologia é um ignorante ou está na Idade Média” ou “o cidadão comum não tem condições de dialogar sobre isto, não tem condições de decidir sobre isto, pois só o cientista é que pode tomar decisão”. Todos estes discursos, já anteriormente utilizados na biotecnologia, foram reempacotados para a nanotecnologia, esquecendo mais uma vez que os problemas da humanidade não são tão simples a ponto de serem resolvidos só por uma tecnologia... (MOREIRA, 2006, p. 310)*

Eliane Moreira lembrou também que a regulamentação de um tema aponta para onde o país quer caminhar. Ela pode ser utilizada para fazer com que uma tecnologia se desenvolva de forma ainda mais célere e com atuação estatal mínima, ou, no outro extremo, é possível pensar na proibição de uma tecnologia, com a finalidade de vedar seu desenvolvimento para prever e decidir sobre suas consequências. Mas o fundamental é que, no processo de regulamentação, o cidadão possa exercer seus direitos de controle e fiscalização dos usos e aplicações da tecnologia – uma tarefa árdua no Brasil, onde não existe essa tradição de participação.

No *III Seminários*, em 2006, foram apresentados os resultados dos projetos aprovados pelo Edital MCT/CNPq nº 13/2004, voltado a estudos sobre aspectos sociais, ambientais, econômicos, políticos, éticos e legais das nanotecnologias (único edital do CNPq sobre este tema até julho de 2016). Na ocasião, Paulo Zawislak, do Departamento de Administração da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, alertou:

*[...] se os valores envolvidos em pesquisa e desenvolvimento por grandes empresas em nanotecnologia ultrapassarem uma barreira tal, não há sociedade civil que controle. [...] não sei que valor é esse, mas deve haver uma barreira de rentabilização dos negócios em que passa a ser avassalador o impacto para a lucratividade das empresas e, neste momento, vocês vão assistir cenas semelhantes às dos transgênicos, quando a Monsanto começou a ganhar rios de dinheiro com esse negócio, não adianta discussão [...]. É, portanto, inviável socialmente combater volumes de rentabilização de negócios que ultrapassem determinadas barreiras. (MARTINS; DULLEY, 2008, p. 183)*

Paulo Zawislak também explicitou seu entendimento do que seja um processo de regulação:

*[...] regulação é a criação de um conjunto de direcionadores de ação consensualmente alcançados pelos atores relevantes. [...] Se o marco regulatório, quando for publicado, disser que 15% do lucro da empresa que investir em nanotecnologia*



*deverão ser revertidos para a formação de trabalhadores e para pesquisa e desenvolvimento, isso terá sido definido não porque um burocrata, ou porque um economista, ou porque um cientista disse, mas porque um colégio de pessoas diretamente envolvidas consensualmente chegou a esse índice. (MARTINS; DULLEY, 2008, p. 210)*

Cabe citar ainda uma pesquisa conduzida pela Renanosoma e apoiada pelo mesmo Edital MCT/CNPq nº 13/2004. A íntegra dessa pesquisa está publicada no livro *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal* (MARTINS et al., 2007). Uma das conclusões desse estudo, que realizou várias entrevistas, aponta para a importância de se começar o mais breve possível o trabalho de informar, discutir e deliberar sobre um marco legal para as nanotecnologias com a participação pública de todos os segmentos sociais interessados.

Do *IV ao XII Seminanosoma*, foram produzidas inúmeras outras contribuições sobre o tema da regulação, e seria impossível comentar todas elas no espaço deste artigo. É importante mencionar, porém, as contribuições da *Renanosoma* que chegam aos trabalhadores, seus sindicatos e órgãos de assessoria. Como prova disso, experiências dos químicos e metalúrgicos da CUT foram apresentadas e debatidas no *IX Seminanosoma*, realizado em São Leopoldo (RS), em 2014. Entre elas, destacam-se cursos de formação visando a analisar impactos das nanotecnologias à saúde dos trabalhadores e, em especial,

*[...] a experiência de negociação coletiva dos Químicos da CUT no Estado de São Paulo que garantiu, em abril de 2012, a inclusão da inédita cláusula na Convenção Coletiva de Trabalho negociada com a indústria farmacêutica, garantindo acesso à informação sobre o uso de nanotecnologias nos processos produtivos, riscos e medidas de proteção adotadas. (NEGOCIAÇÃO..., 2014)*

Para finalizar, vale lembrar que as contribuições da *Renanosoma* para o debate da regulação das nanotecnologias acontecem não só durante os seminários que a Rede promove. O exemplo mais recente

foi um debate travado via *Jornal da Ciência*, em torno do Projeto de Lei nº 6.741/2013, de autoria do deputado Sarney Filho (PV-MA), que “dispõe sobre a Política Nacional de Nanotecnologia, a pesquisa, a produção, o destino de rejeitos e o uso da nanotecnologia no país”. No artigo, o eminente cientista Fernando Galembeck (2015) avalia que:

*a aprovação deste PL e principalmente a sua aplicação irá criar alguns poucos empregos burocráticos e não produtores de riqueza e, ao mesmo tempo, irá exportar muitos empregos na já combatida indústria brasileira, impedindo a criação de muitos outros no território nacional. Este não é um exemplo de responsabilidade social.*

Aparentemente, o artigo teve repercussão na Câmara. O referido PL havia recebido parecer favorável do deputado do PSDB-SP Bruno Covas, relator da matéria, mas ele reviu sua posição. Vários movimentos foram realizados por outros deputados no sentido de exigir que o PL passasse a ser analisado por outras comissões, dificultando sua aprovação – até julho de 2016, o PL encontrava-se “congelado”.

Em resposta ao artigo de Fernando Galembeck, a Renanosoma enviou ao *Jornal da Ciência* o artigo “De regulação e paradigmas: crítica da crítica ao PL nº 6.741/2013”, de minha autoria (MARTINS, 2015), no qual meu ponto de partida é a defesa de que a regulação de uma tecnologia não é um processo exclusivamente técnico. No artigo, meu objetivo:

*não é analisar o conteúdo do referido PL, tampouco defendê-lo. Pretendo apenas e especificamente problematizar uma tese usada pelo professor doutor Galembeck em sua crítica ao PL: aquela segundo a qual, embora o PL seja uma ameaça ao Brasil – e, portanto, ao conjunto dos brasileiros –, esse problema deve ser resolvido pelos especialistas em nanotecnologia – e não pelo conjunto dos brasileiros. Uma tese que entende a regulação da (nano)tecnologia como uma questão meramente técnica e, portanto, não segue a mesma corrente do meu ponto de partida.*

Em seguida, a Academia Brasileira de Ciências (ABC) e a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) assumiram como suas perspectivas, valores e conceitos expressos no artigo “ABC e SBPC publicam manifesto sobre nanociências e nanoengenharia” (ABC; SBPC, 2015). Conforme o referido artigo:

*Como qualquer nova ou velha tecnologia, esta também tem riscos. Os seus riscos à saúde humana têm sido amplamente estudados, e os resultados mostram a inexistência de quaisquer riscos “nanoespecíficos”, embora estes sejam frequentemente mencionados em publicações que não têm base científica. O Brasil tem mostrado competência em nanotoxicologia com muita responsabilidade e participa de iniciativas internacionais de alto nível, que se apoiam na fronteira do conhecimento, como é o caso dos projetos Europeus Nanoreg, que é um consórcio que envolve não apenas a Europa, como também inúmeros outros países. Além disso, são seis Redes de Pesquisa em Nanotoxicologia financiadas pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação e laboratórios do SisNANO que estão se capacitando para obterem certificação. A comunidade científica brasileira está atenta aos possíveis riscos e tem produzido subsídios para a elaboração prudente de marcos regulatórios da nanotecnologia. Por isso mesmo a comunidade científica se opõe à criação precipitada de leis cujo resultado será o engessamento, injustificado e mal fundamentado, de uma área que é uma grande janela de oportunidades para o país.*

O debate continuou com o artigo “A regulação da nanotecnologia e o manifesto da ABC e a SBPC”, publicado no mesmo site e assinado por Guillermo Foladori e Noela Invernizzi (2015). Os autores fazem várias observações sobre o manifesto e destacam:

*Quando o mundo inteiro está buscando regular os nanomateriais manufaturados por manifestar propriedades novas e diferentes dos mesmos materiais em escala maior, o manifesto pretende convencer os parlamentares e a sociedade de*

*que não há nada novo nesta tecnologia. Porém, muitos nanomateriais já são reconhecidos como novos produtos químicos pela EPA-TSCA dos Estados Unidos desde 2010, pelo REACH da União Europeia, pela China, entre outros. Outra questão que surpreende é a forma terminante, e até suficiente, com que o manifesto trata a questão da pesquisa sobre os riscos da nanotecnologia. [...] O estudo dos riscos dos nanomateriais é um típico caso de ciência que só tardiamente entrou na agenda de pesquisa. Assim, por exemplo, o documento publicado pela ABDI em 2011, Nanotecnologias: subsídios para a problemática dos riscos e regulação, nos mostra claramente o número extremamente pequeno de publicações mundiais sobre toxicidade, segurança e avaliação de riscos nas principais áreas de pesquisa em nanotecnologia. No Brasil, a nanotecnologia vem sendo financiada de forma bastante sistemática desde 2001, mas as primeiras redes de nanotoxicologia foram financiadas só 10 anos depois, um hiato considerável. Ou seja, os riscos da nanotecnologia não foram “amplamente estudados”, como diz o manifesto. [...] Mesmo pouco estudados, e ao contrário do que diz o manifesto, que parece atribuir toda menção a riscos a “publicações que não têm base científica”, há evidências científicas sobre riscos de nanomateriais. O banco de publicações sobre Ambiente, Saúde e Segurança dos Nanomateriais compilado pelo International Council on Nanotechnology da Rice University dos Estados Unidos registra, entre 2001 e 2014, 3993 artigos peer reviewed que tratam sobre riscos das nanopartículas mais utilizadas [...] Se direcionarmos a busca para [...] exposição de trabalhadores a nanomateriais, a falta de pesquisa científica é assustadora: a mesma combinação [...] tem como resultado apenas 72 artigos. [...] Os assinantes do manifesto parecem minimizar a importância da comunicação pública transparente sobre o desenvolvimento científico-tecnológico.*

Será que falei o que ninguém ouvia? A Renanosoma, desde sua fundação, fala sobre regulação em nanotecnologia em suas diversas atividades, procurando incorporar os mais diversos atores sociais

interessados no tema. Contudo, até hoje, não há regulação e o grande “troféu” apresentado pelo “*nanostablishment* acadêmico” é a adesão do Brasil ao Nanoreg, projeto internacional que visa apenas a regular o produto, deixando de fora os valores e os interesses da sociedade como um todo e, sobretudo, os trabalhadores que atuam nos processos produtivos nanotecnológicos.

Será que escutei o que ninguém dizia? Durante as atividades da Renanosoma, ao longo de todos esses anos, defendeu-se que o processo de regulação deve ser a criação de um conjunto de direcionadores de ação consensualmente alcançados pelos atores relevantes, interessados no processo, sem vetos ou censura àqueles que “não entendem do assunto”. Que os trabalhadores, como a maioria da nossa sociedade, têm muito não só a aprender, mas também a contribuir nesse processo. Não vou me adaptar.

No caso brasileiro, as pesquisas e a produção de conhecimentos delas resultante são feitas com recursos públicos. No entanto, 99% desses recursos são usados para fazer “ciência de produção”, ou seja, voltada a atividades produtivas. Somente 1% é aplicado no estudo dos impactos na sociedade, no meio ambiente, na saúde humana, na ética, no direito e na regulação. Tamanha assimetria é também uma consequência daquele “*nanostablishment* acadêmico”, que opera com a ideia de que a sociedade pode pagar impostos para financiar as pesquisas em nanotecnologia (mas não pode, porque “não entende do assunto”) e participar das decisões sobre os rumos destas. A Renanosoma não abre mão de seguir lutando para incluir nessas decisões as vozes daqueles que “não entendem”, inclusive e especialmente no que se refere à regulação. Aqueles que têm deliberado sozinhos sobre o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil vão ter que se adaptar a ouvir às nossas vozes.

## Referências

ABC.; SBPC. ABC e SBPC publicam manifesto sobre nanociências e nanoengenharia. **Jornal da Ciência**, São Paulo, 17 ago. 2015. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/abc-e-sbpc-publicam-manifesto-sobre-nanociencias-e-nanoengenharia/>. Acesso em: 24 maio 2019.

FALADORI, G.; INVERNIZZI, N. A regulação da nanotecnologia e o manifesto da ABC e a SBPC. **Jornal da Ciência**, São Paulo, 23 set. 2015. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/edicoes/?url=http://jnoticias.jornaldaciencia.org.br/28-a-regulacao-da-nanotecnologia-e-o-manifesto-da-abc-e-a-sbpc/>. Acesso em: 24 maio 2019.

GALEMBECK, F. PL 6741/2013: mais uma grande ameaça ao Brasil. Um projeto incoerente com seus próprios princípios norteadores. **Jornal da Ciência**, São Paulo, 06 abril 2015. Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/edicoes/?url=http://jnoticias.jornaldaciencia.org.br/9-pl-67412013-mais-uma-grande-ameaca-ao-brasil-um-projeto-incoerente-com-seus-proprios-principios-norteadores/>. Acesso em: 24 maio 2019.

MARTINS, P. R. (Coord.). **Nanotecnologia, sociedade e meio Ambiente**: 1º seminário internacional. São Paulo: Associação Editorial Humanitas, 2005. Disponível em: <http://www.nanotecnologiaoavesso.org/nanotecnologia-sociedade-e-meio-ambiente-1%C2%B0-semin%C3%A1rio>. Acesso em: 15 maio 2019.

MARTINS, P. R.; DULLEY, R. (Orgs.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**: trabalhos apresentados no terceiro seminário internacional. São Paulo: Xamã, 2008. Disponível em: <http://nanotecnologiaoavesso.org/sites/default/files/LIVRO%20III%20SEMINANOSOMA.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

MARTINS, P. R. *et al.* **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal**. São Paulo: Xamã, 2007. Disponível em: <http://www.nanotecnologiaoavesso.org/nanotecnologia-sociedade-e-meio-ambiente-1%C2%B0-semin%C3%A1rio>. Acesso em: 20 maio 2019.

MARTINS, P. R. De regulação e paradigmas: crítica da crítica ao PL 6.741/2013. **Jornal da Ciência**, São Paulo, 03 jun. 2015. Disponível em: <http://jnoticias.jornaldaciencia.org.br/28-de-regulacao-e-paradigmas-critica-da-critica-ao-pl-67412013/>. Acesso em: 24 maio 2019.

MOREIRA, E. C. P. Nanotecnologia, inovação e regulação: as inter-relações entre o direito e as ciências. *In*: MARTINS, P. R. (Org.). **Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente**: segundo seminário Internacional 2005. São Paulo: Xamã, 2006. p. 309-313. Disponível em: <http://nanotecnologiaoavesso.org/sites/default/files/LIVROXAMAIISEMINANOSOMA.pdf>. Acesso em: 15 maio 2019.

## ***Quanto mais conhecemos mais tomamos consciência dos riscos***

*Gilson Luiz de Oliveira Lima*

*As maiores figuras da ciência são pessoas que não hesitam em correr riscos, em perseguir ideias e sonhos que parecem ilógicos ou contrários ao pensamento dominante. (SIMONTON, APUD VICENZI, 2011, p. 151)*

Nesse rápido texto, vou me concentrar apenas numa abordagem macrossocial das implicações do risco no mundo do trabalho, ou seja, o risco da incapacidade de reinventarmos e radicalizarmos os avanços sociais da modernidade tardia, mais reflexiva e mais recente, frente à conquista da manipulação da matéria na escala nanométrica, dando andamento à atual aceleração científica e tecnológica que vivemos.

São múltiplas as implicações da nanotecnologia no mundo do trabalho. Irei focar apenas no risco que considero mais global e que implica o fracasso da reinvenção da modernidade da sociedade industrial para uma nova modernidade reflexiva, por força da resistência dos atores organizados da modernidade industrial, que antes eram modernizadores, tais como empresários, movimentos sociais de massa e sindicais, tornando-se, agora, forças retrógradas, providas de velhos e poderosos recursos.

Esse risco é significativo e gerador da paralisação ou do retrocesso de processos ainda mais profundos de modificação macrossocial do acesso à renda, da ressignificação do velho mundo do trabalho na sociedade industrial, de sua descentralização de importância que poderá gerar riscos muito significativos de exclusão, violência e degeneração do tecido social em formação. De acordo com Beck (2011), com quem concordo plenamente, enquanto na sociedade industrial, de baixa reflexividade, a produção da riqueza domina a lógica da produção de risco, nas sociedades reflexivas, moldadas pelo avanço do conhecimento, essa relação se inverte.



O certo é que vivemos, cada vez mais, a erupção do presente, do tempo real; e temas como o da velocidade de nossa ação no mundo e de nossas decisões de como agir no mundo são cada vez mais exigidos de reflexividade e de tratamento complexo sobre seus riscos. Não se trata aqui da prepotente eliminação dos riscos almejada pela racionalidade planejadora moderna, mas da minimização desses mesmos riscos (LIMA, 2005).

A noção de risco vem, geralmente, acompanhada de um teor pejorativo, típico da hegemonia da visão arrogante e prepotente da velha modernidade determinista. Como se risco fosse desvio ou descuido de um plano racional que poderia ser totalmente controlado ou totalmente evitado se tomássemos os devidos controles. No modelo da sociedade industrial, as formas diversas de “classes”, família nuclear, ciência, progresso e democracia são tradicionalmente tratadas como imanes, no entanto seus fundamentos são cada vez mais suspensos pela reflexividade das novas e radicais acelerações científicas e tecnológicas, em que a nanotecnologia se colocou, recentemente, como o último ponto de chegada para essas suspensões. A continuidade dessa aceleração do conhecimento se torna, ao mesmo tempo, a causa dos avanços sociais e da ruptura com os fundamentos do construto produtivo socioindustrial.

Aprendemos também que os riscos implicados na ciência e nas descobertas do conhecimento não nos impedem de suspeitarmos das intenções de quem inventou essa parafernália tecnológica, ao mesmo tempo tão sedutora e tão apavorante ao ser integrada aos velhos interesses dominantes. Porém, quanto mais avançamos nas descobertas e na produção da riqueza, mais sistematicamente avançamos na produção de riscos e na consciência dos riscos. Por exemplo, somente após Galileu demonstrar, com suas observações registradas metodicamente, que no céu, não havia a dualidade da quinta-essência aristotélica, ou seja, que as leis da física não operavam no espaço não terrestre, conquistamos descobertas cósmicas. Assim, podemos olhar para um lindo dia ensolarado e de céu azul e ao mesmo tempo ter consciência de que por trás dessa beleza corremos sérios riscos de meteoros ou meteoritos que nos ameaçam. Ironicamente, quando morrermos, e se formos para o céu, poderemos ser atropelados por pedras que viajam em alta velocidade no espaço.

Nos últimos anos, realizamos o sonho da manipulação na escala nanométrica da matéria conquistada pela ciência e pela tecnologia. Essa conquista está em plena aceleração e gera consequências, muitas imprevisíveis pelos próprios cientistas, no ambiente, nas sociedades modernas e no mundo do trabalho. As implicações dessa conquista para o mundo do trabalho são múltiplas.

O primeiro grande risco que tratarei aqui é o da precarização da força de trabalho de baixa reflexividade. Desde o fim do século XX, até os dias de hoje – principalmente no mundo ocidental –, a ganância da competitividade negativa da era industrial continua sendo a referência dominante *mesmo para os novos donos do poder mundial*. Até hoje, em pleno início do século XXI, essa ganância pela acumulação e a absurda centralização do conhecimento complexo produzido continua a alastrar-se na sociedade, mantendo e ampliando intensamente seu apetite voraz de cega lucratividade. Desse modo, leva à exclusão e à precarização sociais, tomando de assalto não somente a matéria a ser manufaturada, mas a subjetividade, a imaginação e o desejo.

Vivemos sob o risco mais global: o risco da precarização. Ou inventamos um novo modo de produzir a sociedade e o acesso à renda pela reflexividade do conhecimento ou o velho problema da exclusão ou da precarização de múltiplos agentes na vida em sociedade se tornará ingovernável.

É pela também nítida precarização que, por serem mais fracos dessa sociedade reflexiva do conhecimento, muitos se tornam mais violentos. As tensões, inclusive, de relações econômicas criminosas, geram novos e particulares guetos de “perdedores” desintegrados do novo tecido interno dessa nova sociedade.

A sociedade do conhecimento aponta para uma fantástica potencialidade social de qualidade da vida humana e, ao mesmo tempo, para uma significativa possibilidade de exclusão e precarização massiva e de retorno da barbárie. Com a nanotecnologia, muito mais que atualmente ocorre com a microinformática, as próprias máquinas passam a ser novos trabalhadores, operando uma camada de manipulação da realidade no processo da produção. A substituição dos humanos pelas máquinas no universo das rotinas padronizadas agora implica um mundo onde

dependemos das próprias máquinas da microinformática para acessar e manipular a realidade na escala nanométrica no âmbito do trabalho.

Essa dupla camada de integração entre humanos, máquinas e trabalho gera ainda mais um novo tipo de trabalhador, cada vez mais deslocado para o universo abstrato do conhecimento e da programação e supervisão maquina, liberando, assim, o imenso estoque de trabalho manual e sensorio humano do trabalho para outras atividades.

O trabalho muscular e sensorio passa a ser cada vez mais operado por máquinas e, aos humanos, o ambiente de trabalho torna-se o universo abstrato do conhecimento. Então, as máquinas tornam-se operadoras da manipulação da matéria e, aos humanos, cabe cada vez mais a manipulação quântica do universo do conhecimento. Quanto mais avançamos sobre o universo nanométrico do domínio da matéria, mais os trabalhadores se afastam da manipulação direta da matéria. A primeira grande implicação é o desaparecimento das atividades humanas do trabalho e a necessidade de reciclagem do aprendizado de novos processos geradores de um trabalhador bem mais sofisticado e complexo. Sem escolaridade avançada, o trabalhador se precariza e é excluído do universo de acesso à renda formal.

Uma equipe de operários que produz 1.200 torneiras é mais eficiente do que aquela que, em mesmo número e com os mesmos recursos, produz 900 ou 700, como previu a fórmula matemática de Taylor. Mas como se faz para medir a eficiência de um grupo quando as atividades são produzidas em uma natureza criativa, no qual o trabalho, o estudo e o jogo se confundem? Todo o problema da avaliação econômica complica-se quando entra a criatividade (DE MAIS, 2003).

Com a conquista da manipulação nanométrica da matéria do universo do mundo do trabalho, aceleramos em escala industrial. De modo mais intenso, houve a manipulação acelerada da matéria para além dos sentidos humanos naturais, visíveis e observáveis. Falamos dos recursos de nossos próprios corpos e de nossos próprios talentos e habilidades corporais, motoras e sensorias humanas adquiridas em nossa evolução.

O universo do trabalho acontece cada vez menos na simbiose entre corpo e natureza e mais entre corpo, natureza e sofisticadas máquinas de manuseio da matéria e da energia molecular. Assim, quanto mais avançamos na manipulação da escala nanométrica da realidade da matéria, mais o universo do trabalho deixa de ser um fazer apenas sobre

coisas e torna-se um fazer sobre o universo do conhecimento adquirido em parceria com as sofisticadas máquinas.

Quando inventamos as sociedades industriais, inventamos o trabalho industrial clássico de emprego de rotinas e padrões repetitivos e massivos. Com os avanços da ciência no mundo do trabalho, criamos processos mais abstratos, flexíveis e diversificados, inclusive sobre o deslocamento de corpos e horários, entre espaço e tempo. A escolaridade deixa de ser memorialista. Portanto, as escolas necessitam incentivar o pensamento abstrato, criativo, múltiplo e motivado, rompendo com o monopólio disciplinar do ensino industrial clássico de seus estilos fordistas.

Por essa razão, é sem sentido a ideia de aprendizagem realizada pela sociedade industrial que, praticamente, reduzia o ensino à acumulação de estoques de matérias, quase físicas, formatadas, moduladas e fixadas em nossa memória primária. Perde o sentido não apenas a velha ideia de estocagem de informações em nossa memória primária, como também a de formatação e modelação de conteúdos fixos, de matérias programadas por rígidas disciplinas especializadas em fixos territórios de competências.

Também com o avanço dos nanofármacos, da nanomedicina e da reprogramação celular, resulta um tipo novo de mundo do trabalho moldado pelo ócio e pela longevidade. Vejamos alguns dados tendo por base o homem de Neandertal: nossa média de vida atual é de 700 mil horas, seis vezes mais longa que do nosso ancestral de neandertal. Nossa média de vida é mais do que o dobro da dos nossos avós – era de 300 mil horas. Nossos avós trabalhavam, em média, 120 mil horas no curso de suas vidas. Nós trabalhamos 80 mil (dez anos a menos) – isso para uma média de existência de 700 mil horas, ou seja, um pouco mais de 79 anos. Nossos filhos viverão, em média, 900 mil horas (102 anos) e trabalharão não mais do que 50 mil horas no curso de sua existência.

Hoje, como vimos, pela primeira vez, somos capazes de construir máquinas que substituem não apenas a força muscular do homem, mas também sua força mental, cognitiva, memorialista e informacional. Pela primeira vez, as nanobiotecnologias conseguem decifrar e modificar nosso destino genético e molecular. Pela primeira vez, graças às tecnologias da informação e da comunicação, as relações entre homens e coisas e entre homens e homens podem ocorrer de maneira totalmente não presencial, prescindindo da contiguidade física e dos artefatos táteis.

É certo que o envelhecimento conquistado é resultado de uma dupla destruição: de uma parte, do declínio das atividades vivas e orgânicas; e, de outro, de uma destruição programada e ativa localizada nas células. Podemos concluir que, a cada dia, a morte deixa de ser encarada como natural. E cirurgias que repõem novas células em órgãos deficitários são cada vez mais comuns. A ciência já garante que existem informações disponíveis para que se viva até mais de 120 anos, caso se comece cedo o bastante e se adote religiosamente um regime perpétuo de restrição dietética. Já durante os anos de 1930, experiências científicas com ratos subnutridos possibilitaram que esses aumentassem sua longevidade em até 50%, apesar de muitos cientistas e intelectuais não terem acolhido esses testes e terem questionado sua adequação à vida humana (BROCKMAN, 1989).

As consequências são perturbadoras. Em três gerações, a longevidade mais do que dobrou; desapareceram milhões de empregos físicos e foram criados milhões de atividades intelectuais; a maior parte da população ativa trabalha em setores terciários; o tempo livre aumentou para a maior parte da população rica e abastada; as emoções e os sentimentos recuperaram terreno com relação à pura racionalidade industrial, todos os ramos da vida feminizaram-se; o tempo e o espaço desestruturaram-se; e a qualidade da existência tornou-se objetivo prioritário para todo o Primeiro Mundo.

Assim, além das pesquisas que indicam o potencial da nanotecnologia, necessitaremos, e muito, de recursos para identificarmos os novos riscos da simbiogênese da reprodução ampliada da vida em nosso mundo, principalmente quanto ao acesso à renda pós-trabalho. Devemos, desde já, aumentar nossa prontidão ao potencial e aos novos riscos que a nanociência já nos indica. Por exemplo, tudo indica que o celular de hoje será, em escala industrial, a porta de entrada da nanocomunicação daqui a menos de uma década. Outro dado importante é que, pela primeira vez, desde a invenção dos telefones celulares, a venda destes aparelhos ultrapassou a de computadores. Em 2004, a venda do modelo com câmera embutida foi de quase 200 milhões de aparelhos. É claro que essa tecnologia de comunicação nômade muda completamente a capacidade de sintetizar a representação da realidade.

O mundo da simbiogênese primária natural é, cada vez mais, mesclado por uma nova camada de simbiose da informação e ressonân-

cia sensória promovida por esses artefatos móveis que acompanham os “novos nômades”. Por exemplo, já existem registros de assaltantes presos devido à identificação por fotos tiradas com aparelhos celulares e fornecidas à polícia. Certamente, em menos de 15 anos, teremos nanocâmeras mais compactas e de altíssima resolução, embutidas em óculos, canetas, anéis, botões de camisas etc.

Isso nos permite estar atentos a novos conceitos, enfrentar velhos preconceitos e diminuir os riscos que a atrofia tecnológica, com seus frios e fechados sistemas assimbióticos, impõe-nos na contemporaneidade. Também nos ajuda a produzir novos consensos e responsabilidades sociais, com reflexividade acurada. Dessa maneira, serão enfrentadas, sem receio, as reações superficiais, tanto do cardápio humanista conservador, que impõe seus regimes reacionários, quanto do cardápio da gorda saúde dominante dos deterministas tecnológicos. Estes querem que devoremos tudo para, em seguida, vomitarmos tudo e, assim, mantermos a forma, estando sempre aptos para engolir, de modo alucinógeno, novos e “desejantes” consumos simbólicos, produzidos em aceleração constante, por nossas sociedades liquidificadas.

Enfim, a sociedade mudou e está mudando muito rápido, virando-nos de ponta-cabeça. Ergue-se uma poderosa esfinge tecnológica. Podemos perguntar-nos: qual é o segredo da esfinge? Sabemos onde habita sua força, mas onde se esconde sua fraqueza? Precisamos de novos heróis como Perseu, precisamos decifrar a esfinge, precisamos de novos guardiões confiáveis para a continuidade da herança civilizadora, para uma vida social de longo prazo, de um longo agora. E é aqui que acreditamos residir o potencial emergente de nascimento de uma nova sociologia e de uma nova ciência social em geral, uma nova agência reflexiva do saber complexo.

Antes de terminarmos, fazemos um convite:

Intelectuais, homens e mulheres de boa índole de nossa Terra Pátria Planetária, concentrem todas suas energias criativas na decifração da esfinge. Antes que tudo que é sólido se converta em ondas e micropartículas eletromagnéticas e que quase todo o tecido social do planeta se decomponha em precarização, diante da passagem ciclônica e revolucionária da esfinge tecnológica e informacional por todos os acontecimentos de nossas vidas, onde muitos do povo que efetivamente vivem nas sociedades reflexivas, também nelas faltem.



## *Referências*

- BECK, U. **Sociedade de risco**: rumo a uma outra modernidade. Tradução de Sebastião Nascimento. 2. ed. São Paulo: Ed. 34, 2011.
- BROCKMAN, J. **Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankenstein**. São Paulo: Companhia das Letras, 1989.
- DE MASI, D. **Criatividade e grupos criativos**. Rio de Janeiro: Sextante, 2003.
- LIMA, G. **Nômades de pedra**: teoria da sociedade simbiogênica contada em prosas. Porto Alegre: Escritos, 2005.
- VICENZI, L. **Coragem para evoluir**. 3. ed. Foz do Iguaçu: Associação Internacional Editares, 2012.
- WALFORD, R. L. **Maximum life span**. New York: Addison-Wesley, 1983.3.





## *Nanotecnologia e engajamento público*<sup>13</sup>

*David M. Berube*

Há centenas de artigos que abordam a compreensão do público com relação à nanotecnologia. O projeto conduzido na Carolina do Norte, denominado Public Communication of Science Technology (PCOST),<sup>14</sup> recebeu milhares de dólares para produzir parte deste trabalho. Fizemos uma lista dessas fontes para um documento da National Science Foundation (NSF). Claramente, a maior parte da pesquisa vem sendo realizada no Ocidente e a maioria dos dados provêm de estudos realizados nos Estados Unidos e na Europa Ocidental. A maneira como estes dados foram coletados variou de entrevistas estruturadas, pesquisas via e-mail e internet, grupos focais e exercícios de engajamento. A qualidade dos dados varia consideravelmente.

O Brasil possui uma comunidade muito ativa em nanociência, destacada em artigo do MRS Bulletin (REDMOND, 2012) sobre a cooperação tecnológica entre o país e os Estados Unidos, e este fenômeno é evidenciado em vários outros pontos desta publicação. Muitos pesquisadores vêm chamando a atenção para um investimento significativo em pesquisa e desenvolvimento em nanociência no Brasil (REDIGUIERI, 2009). Este investimento virá em partes ou integralmente do próprio dinheiro público. Se houver qualquer risco financeiro na aplicação das nanotecnologias, as agências regulatórias devem intervir e estabelecer regras e regulamentos em defesa do público. E se esta aplicação resultar em produtos e se estes entrarem no mercado para consumo, então o público terá de comprá-los situação que demanda que o público seja auxiliado em seu processo de entendimento de nanociência e nanotecnologias.

Uma pesquisa baseada no Brasil envolvendo reações públicas inclui o artigo de Macnaghten e Guivant (2011), que encontraram respostas de cidadãos brasileiros mais positivos às nanotecnologias e de

---

<sup>13</sup> Traduzido por Alexandra Rinaldi (Fundacentro).

<sup>14</sup> “Comunicação Pública em Ciência e Tecnologia” em tradução livre.

aceitação à narrativa do progresso técnico-científico. Esta mesma observação foi encontrada entre os públicos norte-americano e japoneses.

Este pequeno capítulo me concedeu a oportunidade de criticar o tema sob a ótica da compreensão pública e de seu engajamento em nanotecnologia. Evidentemente, as observações a seguir podem ser relevantes para que haja esforços em prol da compreensão pública com relação à ciência e ao surgimento de novas ciências e tecnologias, como a biologia sintética e a geoengenharia.

### ***Por que envolver o público?***

Vamos iniciar com “porque” queremos ou precisamos que o público entenda nanociência e nanotecnologia. Conforme mencionado, gastamos o dinheiro público e, se/quando a nanotecnologia entra seriamente no mercado de consumo, este público será o próprio consumidor. Contudo, antes de examinarmos questões mais pragmáticas, consideremos as teóricas. A teoria da esfera pública tradicional sugere que o público precisa participar da governança para que a democracia tenha sua função efetiva. Embora existam questões significantes com a teoria da esfera pública, incluindo, mas não se restringindo a, classismo, racismo e sexismo, há também desafios para conectá-las aos papéis desempenhados pelos gestores públicos eleitos em sua representatividade política, bem como à compensação pública (termo usado para sugerir que público não é homogêneo) para participarem de acordo com suas agendas e orçamentos pessoais e profissionais (BERUBE; CUMMING, 2015).

Embora haja um causa excelente que possa ser extraída de valores cívicos educacionais, deve-se ponderar se o avanço das tecnologias, tal como a nanotecnologia, será melhor para o debate cívico nas escolas. Para além do que pode ser aprendido do engajamento público, fica implícito que é importante compreender que a participação pública nos debates sobre tecnologias avançadas talvez não seja apenas uma questão de desconhecimento ou de um simples déficit de conhecimento em ciências. Por muitas décadas, os pesquisadores defenderam o posicionamento de que o público tem uma certa deficiência em compreender a ciência, e que uma maneira de compensar isso seria investir ainda mais

no conhecimento, a fim de fortalecer as novas tecnologias. Mas, comprovadamente, isso não aconteceu. Na verdade, há pouca evidência de que o público debata políticas científicas com argumentos sobre ciência (como, por exemplo, nos debates sobre a mudança do clima no Ocidente). Enquanto o analfabetismo científico for um problema por uma série de razões, expor o público a mais informações científicas para além do que a sua educação formal possibilita parece ter efeito mínimo em sua compreensão por si só.

Fato é que atividades informais, como atrações em museus ou documentários na televisão, parecem atrair mais o público mais instruído cientificamente. O público não alcançado é aquele ocupado e desinteressado, muitas destas pessoas optaram por ficar à margem da população cientificamente instruída (por vezes por razões que não suas próprias). E isso não é um argumento usado contra a educação em ciência por si só. Estudantes com excelente educação tendem a se tornar ótimos cientistas e engenheiros.

Para alguns, os investimentos em ciências sociais na área de nanotecnologia parecem ser perda de tempo, uma reclamação muitas vezes ouvida enquanto escrevia meu livro (BERUBE, 2006). Muitos argumentaram que dinheiro em ciência da produção é simplesmente mais produtivo do que investir dinheiro em ciências sociais. Embora os proponentes e oponentes sensíveis a esta questão tenham muito a dizer, há poucos — se houver algum — dados indicando que as pesquisas voltadas para a compreensão pública da nanociência têm contribuído muito para o desenvolvimento de uma política nesse campo.

Quando coletamos dados indicando que grande parcela do público parece não compreender o que pode vir a ser nanotecnologia, precisamos nos perguntar por que esses dados são importantes e como podem ser usados. De modo geral, muitas das conclusões obtidas em pesquisas, grupos focais e atividades de engajamento nos mostraram muito do que já sabemos. Já tivemos alguns poucos exemplos de eventos negativos associados à nanociência e eles não foram amplificados a ponto de ameaçar o desenvolvimento e as aplicações neste campo da ciência. Não houve o tão temido “contágio”, segundo o qual toda a indústria estará ameaçada quando da reação negativa do público diante do surgimento de um problema. O sentimento público parece superestimado.

## *Quando envolver o público?*

Para diversas atividades de alcance público, elas tendem a ocorrer em um momento do desenvolvimento de uma tecnologia em que o entendimento público tenha menor probabilidade de impactar esse desenvolvimento. Isso levou a um debate sobre onde, no fluxo de uma ciência se tornando tecnologia, o público deve se engajar. Neste ponto, o público consegue ratificar o que já foi decidido ou se revolta. Dado o otimismo tecnológico no Brasil e nos Estados Unidos, notam-se mais ratificações do que qualquer outra resposta. Isso levou um pequeno grupo de cientistas a defender o engajamento (MACNAUGHTEN, 2009). Em geral, esta teoria argumenta que envolver o público no início do desenvolvimento de determinada tecnologia possibilita pensar nas diferentes direções que ela pode tomar. Se o investimento realizado na tecnologia não for comprometido, os interesses talvez não sejam formalizados e as pressões para levar adiante o que foi aprendido irão se tornar menos substanciais.

Há uma certeza implícita de que, uma vez que aumentemos a compreensão pública, por meio de engajamento formal ou de outra forma, haverá algum efeito para dar continuidade. Temos poucas evidências de que um eleitorado bem informado funcione de maneira diferente daquele menos informado. O debate científico é uma habilidade e a maioria do público não está preparada para enfrentar defensores técnicos em debates, tais como leis e governo.

A dinâmica em funcionamento que explica como o público aborda questões complicadas sobre ciência e tecnologia e política ainda permanece obscurecida por sobreposições teóricas, que contempla testemunho (BROWN; HARRIS; RUSSELL, 2010), fronteiras (PALMER, 2013) e zonas de comércio (GORMAN, 2010), entre outros. Essa abordagem envolve emprestar uma teoria de uma disciplina para explicar o que está acontecendo em outra e isso está repleto de diversos problemas que muitos teóricos negligenciam para simplificar sua sobreposição teórica.

Finalmente, há poucas evidências sobre o impacto longitudinal dos esforços e das atividades de compreensão e engajamento. Muitos dados comportamentais são apenas sobre intenções de como agir até determinado ponto. Exponha uma amostra a um estímulo, como um

artigo ou uma apresentação ao vivo, e então peça que falem a respeito e indiquem como podem ter mudado. Os dados instanciados são discutidos na seção de implicações e descobertas de um documento ou artigo. Se houve alguma mudança comportamental comprovada e significativa, é mais conjectura do que descoberta.

### *Como envolver o público?*

Em quase 75 anos de pesquisas na área de comunicação com o público sobre riscos e benefícios, aprendemos muito sobre o assunto. O público, em sua maior parte, não toma decisões com base em dados. Utiliza métodos heurísticos ou caminhos mentais mais curtos quando se trata de dar sentido a conceitos difíceis.

Isto não o torna irracional, mas apenas não racional cientificamente. Por exemplo, um cientista decide o perfil de risco de uma nanopartícula com base na dosagem, na exposição e na toxicidade. É improvável que o público faça uso deste modelo para definir um perfil de risco. Há mais de 60 métodos heurísticos e vieses atribuídos à maneira como o público percebe o risco, os quais normalmente chamamos de atalhos mentais. Eles incluem afeto, disponibilidade (KELLER; SIEGRIST; GUTSCHER, 2006) para confirmar os efeitos (ALLEN, 2011) e probabilidade de negá-los (SUSTEIN, 2002).

Estranhamente, em muitas ocasiões esses caminhos mentais podem alcançar conclusões objetivas e validadas. Contudo, em outras circunstâncias, tornam-se a base de um desentendimento e até mesmo de um comportamento obsessivo-compulsivo.

Soma-se a isso a divulgação ciência e tecnologia pela mídia é deficiente. Muitos jornais não têm mais repórteres especializados no tema e, assim, eles tendem a publicar press releases ou, mais frequentemente, as matérias dramáticas possíveis. Os telejornais sofrem com as mesmas limitações, inflando as reportagens com informações bizarras com as quais acredita que atrairá o público, como “Ar-condicionado faz você engordar” (RADHAKRISHNAN, 2006).

Muitos telejornais tradicionais cortaram o jornalismo investigativo, optando por discursos mais inflamados. A mídia digital tem feito uso de um estilo mais alarmista, sem examinar os fatos, com muito a se

falar, mas com pouco conhecimento e amadurecimento para compartilhar informações. Por fim, as mídias sociais e plataformas como Twitter e Facebook estão repletos de boatos e insinuações desagradáveis. O público tem pouca informação quando o assunto é ciência ou informação tecnológica, e a qualidade dessa informação ainda permanece um problema. A mídia, seja a tradicional ou digital, define a agenda pública (MCCOMBS; SHAW, 1972), pontua o que é relevante (SCHEUFELE, 1999) e amplifica as mensagens sobre ciência (BINDER et al., 2014), inclusive nanociência, decidindo muitas vezes o que o público deve ler ou ouvir.

Tal fato tem levado pesquisadores em ciência e tecnologia a investigar algumas abordagens bastante inovadoras para o engajamento público. Algumas são citadas em meu livro *NanoHype* (BERUBE, 2006) e não serão repetidas aqui. Algumas das mais interessantes centram-se em narrativas e *storytelling*. O modo como são contadas as histórias sobre nanociência e como elas se comunicam com o público e aumentam o engajamento recebeu um vigoroso debate em uma série de artigos sobre Nanoética entre os autores Thorstensen (2014) e Kearnes e Colaboradores (2014), os quais valem a pena ler. Eles expõem o leitor alguns dos elementos da compreensão pública sobre ciência e das teorias de engajamento para os quais não há espaço suficiente aqui.

### ***Onde engajar o público?***

Muitos locais escolhidos para a realização de atividades de engajamento público são artificiais e inorgânicas. As atividades de engajamento normalmente envolvem levar uma parte do público para determinado local para então realizar as atividades. Isso faz as pessoas se sentirem em um lugar estranho, fora de sua zona de conforto.

Este é um engajamento inorgânico, influenciado por questões externas ou ambientais, como muitas vezes relatado nas pesquisas conduzidas individualmente. Em sua maior parte, quando o público discute questões de plóticas sociais ou mesmo científicas, isso envolve sua própria iniciativa do e seu próprio local. Esta é a chave para o engajamento orgânico, ou seja, ele envolve ir aos locais já frequentados pelo público, como igrejas e clubes, e alcança-los, o verdadeiro “alcance”.

Além disso, é importante envolver a comunidade e os líderes públicos, dando a eles a oportunidade de trabalhar com recursos locais e formar opinião, envolvendo-os na criação de um evento de engajamento. Quando o público atua como líder organizacional em um evento de engajamento público, deixando que os pesquisadores atuem como consultores, permitimos que componentes de psicologia social e organizacional, assim como comunicacional floresçam. Isso distingue o engajamento orgânico do inorgânico.

Em 2006, tentamos algumas dessas atividades com uma bolsa concedida pela NSF (2007) e descobrimos um nível razoavelmente alto de satisfação por parte do público participante, bem como efeitos mensuráveis (GEHRKE, 2014). Mais investimentos em engajamento (caso ocorram) podem ser mais produtivos se tratarmos a compreensão e o engajamento como atividades orgânicas, talvez em algumas situações desorganizadas e imperfeitas, porém mais naturais, com duração ecológica mais forte.

### ***Quem deve engajar o público?***

Guardei o “quem” para ser o último por considerar o mais controverso. Afinal, governo deve estar presente nas ações de marketing de seus programas para o público? Como assegurar que o engajamento não se transforme em promoção?

Além disso, podemos querer que o público participe, mas devemos nos perguntar até que nível e para quais razões. Estamos dispostos a dar ao público poder de veto sobre as questões de política científica? O engajamento envolve a divisão de poder, e o público não responde muito bem ao uso simbólico da divulgação e participação.

Pretendemos apaziguar o público fazendo-o acreditar que participam das discussões políticas de modo a fazer com que estas caminhem suavemente e sem muita controvérsia? De maneira simples, estamos envolvidos em gestão e marketing ou em compreensão e engajamento?

A gestão de risco está mais relacionada com relações públicas do que com alcance público. Compreensão e envolvimento não são intrínsecos à gestão de riscos. É incrivelmente fácil deslizar para um cenário



promocional ao desenhar atividades de engajamento como parte de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, seja externamente financiado ou não. O cuidado em proteger a integridade das atividades de engajamento e seus resultados dos interesses promocionais sugere que sejam protegidos um do outro.

O engajamento público tem seu valor. Estranhamente, são necessárias mais pesquisas para se afirmar positivamente que a compreensão e o engajamento públicos têm valor inerente. Algumas observações realizadas aqui podem servir como ponto de partida para reexaminar as bases da compreensão pública e do engajamento em ciência.

Este material é embasado no trabalho conduzido pela NSF, sob concessão número 1542015, e pela *North Carolina Research Triangle Nanotechnology Network* (RTNN). Quaisquer opiniões, conclusões ou recomendações expressas pertencem ao autor e não refletem as visões NSF, da equipe RTNN, PCOST e NCSU.

## Referências

ALLEN, M. Theory-led confirmation bias and experimental persona. **Research in Science & Technological Education**, v. 29, n. 1, p. 107-127, 2011.

BERUBE, D. **Nano-hype: the truth behind the nanotechnology buzz**. New York: Prometheus Press, 2006.

BERUBE, D.; CUMMING, C. Convergence in ethical implications and communication of emerging technologies. *In*: BAINBRIDGE, W. S.; ROCO, M. C. (Eds.). **Handbook of science and technology convergence**. Chan: Springer International Publishing Switzerland, 2015.

BERUBE, D. *et al.* Communicating risk in the 21st Century: the case of nanotechnology. Arlington, VA: National Nanotechnology Coordination Office, 2010. Disponível em: [https://www.nano.gov/sites/default/files/pub\\_resource/berube\\_risk\\_white\\_paper\\_feb\\_2010.pdf](https://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/berube_risk_white_paper_feb_2010.pdf). Acesso em: 14 jan. 2020.

BINDER, A. *et al.* The role of media in the social amplification of risk. *In*: Choo, H.; Reimers, T.; McComes, K. A. (Eds.). **The SAGE handbook on risk communication**. London: Sage, 2014. p. 69-85.

BROWN, V; HARRIS, J. A.; RUSSELL, J. **Tacking wicked problems: through the transdisciplinary imagination**. New York: Earthscan/Routledge, 2010.

GEHRKE, P. Ecological validity and the study of publics: The case for organic public engagement methods. **Public Understanding of Science**, v. 23, n. 1, p. 77-91, 2014.

GORMAN, M. **Trading zones and interactional experience: creating new kinds of collaboration**. New York: The MIT Press, 2010.

KEARNES, M.; MACNAUGHTEN, P.; DAVIES, S. Narrative, nanotechnology and the accomplishment of public responses: a response to Thorstensen. **Nanethics**, v. 8, p. 241-250, 2014.

KELLER, C.; SIEGRIST, M.; GUTSCHER, H. The role of the affect and availability heuristics in risk communication. **Risk Analysis**, v. 26, n. 3, p. 631-639, 2006.

MACNAUGHTEN, P. Engaging nanotechnologies: a case study of “upstream” public engagement. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2009.

MACNAUGHTEN, P.; GUIVANT, J. Converging citizens? Nanotechnology and the political imaginary of public engagement in Brazil and the United Kingdom. **Public Understanding of Science**, v. 20, n. 10, p. 1-15, 2010.

MCCOMBS, M.; SHAW, D. The agenda-setting function of mass media. **The Public Opinion Quarterly**, v. 36, n. 2, p. 176-181, 1972.

NSF. **Award abstract #0809470**: NIRT: Intuitive toxicology and public engagement, 2007. Disponível em: [https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD\\_ID=0809470](https://www.nsf.gov/awardsearch/showAward?AWD_ID=0809470). Acesso em: 17 jan. 2021.

PALMER, C. L. **Work at the boundaries of science**: information and the interdisciplinary research process. New York: Springer, 2013.

RADHAKRISHNAN, B. Can air conditioning make you fat?" **ABC News**, 2006. Disponível em: <https://abcnews.go.com/Health/Diet/story?id=2120381&page=1>. Acesso em: 27 maio 2018.

REDIGUIERI, C. F. Study on the development of nanotechnology in advanced countries and in Brazil. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 45, n. 2, p. 189, 2009.

REDMOND, K. US-Brazil science and technology cooperation high lights nanotechnology. **MRS Bulletin**, v. 37, n. 8, p. 713-714, August 2012. Acesso em: 08 jan. 2021.

SCHEUFELE, D. Framing as a theory of media effects. **Journal of Communication**, v. 49, n. 1, p. 103-122, 1999.

SUNSTEIN, C. R. Probability neglect: emotions, worst cases, and law. **The Yale Law Journal**, v. 112, n. 61-107, 2002.

THORSTENSEN, E. Public involvement and narrative fallacies of nanotechnologies. **Nanoethics**, v. 8, p. 227-240, 2014.

# ***As novas tecnologias e a precarização social do trabalho: uma abordagem sócio-histórica dos fenômenos da inovação tecnológica e da precarização social do trabalho***

*Jorge Marques Pontes*

*O que distingue as diferentes épocas econômicas não é o que se produz, mas como e com que meios de trabalho (instrumentos). (MARX, 1909, p. 200, tradução nossa)*

Na Ludwig-Maximilians-Universität München, na Alemanha, a matéria é manipulada em proporções nanométricas. Pelo feito, a universidade recebeu um prêmio, pois uma investigação deste tipo dá vida à teoria quântica, que é a que detém a última palavra no nanocosmos.

*Quem a compreender na perfeição conseguirá, inclusive, desenvolver medidas de tempo mais rigorosas. Relógios mais precisos poderão, por sua vez, ajudar a acelerar o fluxo de dados na Internet – uma investigação aparentemente esotérica, mas bem rentável. (COMISSÃO EUROPEIA, 2004, p. 18)*

As tecnologias, a nanotecnologia inclusive, proporcionam-nos oportunidades de desenvolvimento em diversos campos da ciência e, obviamente, estas tecnologias influenciam os modos de produção e, por consequência, as relações do trabalho. Contudo, o tema “inovações tecnológicas” em si é muito abrangente, pois poderíamos discutir, a partir de pressupostos histórico-filosóficos e sociológicos, os aspectos éticos do uso da tecnologia na melhoria da qualidade de vida ou seu próprio desenvolvimento em aspectos técnicos durante horas a fio, sem alcançar nenhuma conclusão definitiva e/ou consensual.

Entretanto, na exiguidade do tempo e na busca da objetividade, sugerimos tomar como pergunta norteadora o entendimento sobre como

as tecnologias (nanotecnologia, biotecnologia etc.) e suas aplicações podem iniciar um processo de precarização social do trabalho. E, quando nos colocamos a pergunta “como pode?”, significa que analisaremos as possibilidades da ocorrência de tal fenômeno, o que não constitui um fato concreto no futuro ou mesmo que tal fato esteja presente.

### ***Inovação tecnológica e as mudanças nos meios de produção***

*Das vinte e quatro horas do dia, apenas seis são dedicadas ao trabalho. Trabalham por três horas na parte da manhã, almoçam e descansam por duas horas para, em seguida, trabalhar por mais três horas [...] essa jornada de trabalho é suficiente o bastante para se produzir não apenas os bens necessários à vida, mas também aqueles que dão conforto e prazer à existência.*

*(MORE, 2004, p. 57)*

A obra *Utopia*, de Thomas More, refere-se à vida fictícia dos habitantes da ilha de Utopia – lugar nenhum –, onde todos têm uma regulamentação que permite trabalhar apenas seis horas por dia, com intervalo para descanso, em atividades previamente escolhidas pelo cidadão, salvo a necessidade do Estado, que se dá temporariamente. O interessante é que essas pessoas são responsáveis por manufaturar suas roupas e pela agricultura familiar e, apesar de se dedicarem aos estudos, não se percebe nenhum progresso tecnológico entre elas. Continuam fazendo as mesmas coisas, da mesma maneira. Outro fato notável é a pouca importância ou nenhuma que dão ao ouro e às riquezas.

Segundo o diplomata João Almino (MORE, 2004, p. XI), esta obra pode ser entendida como uma crítica à Inglaterra das primeiras décadas do século XVI, sendo que “[...] uma delas se dirige a seu belicismo e à sua ânsia desmesurada e descabida de conquistar novos territórios, em vez de bem administrar os que já possuem”. Entretanto, vamos além: existe implícita também uma crítica moral que se dirige ao trabalho e às suas formas e ao acúmulo de riquezas, especialmente, na agricultura. Além disso, é a ausência de desenvolvimento tecnológico que, em parte, mantém a sociedade estável. Para entender a relação

entre trabalho, acúmulo de riquezas e desenvolvimento tecnológico, é necessário que recorramos a Karl Marx e à sua análise sobre o século XVI na Inglaterra.

Nessa sua análise, Marx (1909, p. 163) posiciona, naquela época, o início do moderno capitalismo. E por que partimos de Marx? Rosenberg (1976) afirma que o estudo de Karl Marx deve ser ponto de partida para o estudo obrigatório da tecnologia. Ele aponta que a ciência não se desenvolve pelo movimento de forças internas da própria ciência, muito menos da comunidade científica. Esse desenvolvimento tecnológico não é uma esfera autônoma da atividade humana. Em vez disso, a ciência deve ser entendida como uma atividade social que responde a interesses econômicos. E acrescenta: “*It is man’s changing needs as they become articulated in the sphere of production which determine the direction of scientific progress*” (ROSENBERG, 1976, p. 128).

Percebamos que, na análise de Marx (1909), o desenvolvimento tecnológico é gerado endogenamente no sistema capitalista. Voltamos, então, às origens do capitalismo moderno apontada por este pensador como tendo ocorrido no século XVI. Ele nos indica como padrão principal desse moderno capitalismo a *produção e a circulação* de commodities e sua forma mais desenvolvida de *circulação*, o comércio.

Sem entrar em detalhes, pois o tempo é exíguo e não nos permite delongas, Marx (1909, p. 166) esclarece a diferença entre *circulação de dinheiro* enquanto *capital* e sua *circulação* enquanto *dinheiro* simplesmente. No capitalismo, tal refluxo do *dinheiro* não depende de o produto ser vendido por um preço maior do que foi comprado, mas da *velocidade* em que se efetiva o circuito *dinheiro – produto – dinheiro*. Dessa maneira, a *produção* e a *circulação* são os pontos mais importantes deste regime econômico.

Agora, podemos entender a crítica de Thomas More à Inglaterra do século XVI ao acúmulo de riquezas e ao desprezo pelos trabalhadores do campo. Entre aquele período e o século XIX, Marx (1909) aponta que houve a necessidade de se desenvolver tecnologicamente a manufatura para produzir bens de *maneira mais rápida* para atender à circulação de capital. Este desenvolvimento tecnológico tornou as máquinas uma nova ferramenta do trabalhador e possibilitou a entrada de mulheres e crianças no mercado de trabalho, pois não necessitava da força bruta masculina para algumas atividades.

Complementarmente, Weber (2004), em sua obra *Ciência e política como vocação*, traz uma argumentação que mostra como as universidades têm se tornado empresas:

*Os grandes institutos de ciência e de medicina se transformaram em empresas de capitalismo estatal [...] E nota-se o surgimento, como, aliás, em todos os lugares em que se implanta uma empresa capitalista, do fenômeno específico do capitalismo, que é o de “privar o trabalhador dos meios de produção. (WEBER, 2004, p. 19-20)*

Esta afirmação de Weber (2004) reforça a visão de Marx (1909), que coloca o desenvolvimento tecnológico atrelado aos interesses do capitalismo, que pretende mudanças nos meios de produção e na circulação de bens necessários à realização do capital. Isto é fácil de entender de maneira prática. Pensemos em um rádio, sim, um rádio de pilha que pode ser comprado em qualquer supermercado. Ele custa um valor muito baixo, mas, se olharmos dentro dele, encontraremos milhares de componentes eletrônicos e, quanto menor e mais complexo, maior será a tecnologia empregada (inclusive nanotecnologia). Se raciocinarmos mais detidamente, o custo de produção de um rádio como este não seria baixo, pois envolve a cadeia de extração, produção e transporte dos materiais – a economia de materiais. Entretanto, o capitalismo realiza-se na produção e na circulação de capital, não sendo tão importante o preço final. Talvez por esta razão, vemos tantas lojas de departamento anunciando que vendem mais, por menos.

A inovação tecnológica tem papel importante no ciclo do capital. A cada período, o computador, o celular, o carro, a roupa muda. No caso dos eletroeletrônicos, torna-se quase impossível sua utilização, pois alguns aplicativos nem funcionam mais nos aparelhos antigos. Esta é uma discussão longa que envolve consumismo, obsolescência presumida e percebida, por isso não cabe neste momento. O que queremos com isso ressaltar é aquilo que foi percebido por Marx (1909): “a inovação tecnológica é um processo endógeno do sistema capitalista”.

Assim como o ciclo do capital precisa de rapidez para ter sucesso, as mudanças nos meios de produção e em suas consequências de

precarização social do trabalho também são muito rápidas. Entretanto, a adaptação do trabalhador, as pesquisas sobre riscos e as medidas de prevenção de acidentes e doenças, comparadas com a dinâmica do fenômeno da inovação, são lentas e isso foi notado por John M. Keynes:

*Eu acredito que esta é uma interpretação equivocada do que está acontecendo conosco. Estamos sofrendo não do reumatismo da velhice, mas das dores crescentes das mudanças rápidas, da dor do ajuste entre um período econômico e outro. O aumento da eficiência técnica tem ocorrido mais rapidamente do que podemos lidar com o problema da absorção [desta eficiência] no trabalho [...] (KEYNES, 2010, tradução nossa)*

### ***Quarta Revolução Industrial***

“Quarta Revolução Industrial” é um conceito usado para descrever a fase em que nos encontramos no desenvolvimento tecnológico. Desde o primeiro tear mecânico, que data de 1784, portanto 237 anos atrás, podemos distinguir quatro fases no processo de desenvolvimento que chamamos “Revolução Industrial”. O primeiro grande desenvolvimento ocorreu no fim do século XVIII com as máquinas a vapor. A segunda revolução industrial situa-se no início do século XX, com a eletricidade, as correias transportadoras e a produção em massa, época em que surgem nomes como Henry Ford e Frederick Taylor. A terceira é a introdução da automação digital da produção por meio dos eletrônicos e do uso da informática (BLOEM, 2014).

Hoje, encontramos-nos no início de uma quarta fase, caracterizada pelo chamado cyber physical system. Estes sistemas são consequência de pesquisas que integram a produção, a sustentabilidade e a satisfação do consumidor, formando a base de sistemas e processos em redes inteligentes. Entretanto, sob tal perspectiva, devemos considerar a necessária fusão de tecnologias digitais, físicas e biológicas, o que engloba biotecnologia, nanotecnologia, entre outras, e os campos ainda não explorados quanto às suas potencialidades, às mudanças necessárias no mundo do trabalho e aos riscos ao ser humano.



Segundo Schwab (2016), algumas características surgem no contexto desta revolução:

- *Velocidade*: esta revolução ocorre de modo exponencial, e não em passos lineares;
- *Amplitude e profundidade*: mudanças de paradigma sem precedentes estão ocorrendo na economia mundial, no mercado, nas sociedades e nos indivíduos. Estas alteram “o que” e “como” as coisas são produzidas. Mas também “quem” nós somos.
- *Impacto sistêmico*: esta revolução envolve a transformação de sistemas completos em países, empresas e sociedade como um todo.

Pensando efetivamente nos impactos desta nova fase, o problema que se apresenta é que, segundo pesquisadores, estamos ainda no início desta transformação, para a qual se farão necessárias novas estruturas econômicas e organizacionais. Isso possibilitará agregar à vida do ser humano todo o seu potencial valor. Contudo, de imediato, já sentimos algumas mudanças em nossa forma de interagir e comunicar, além das relações que construímos com os outros.

E, neste ponto, a questão central é: como as identidades humanas, as ideologias, as normas e os valores serão reformados? E ainda, na perspectiva específica do mundo do trabalho, quais serão as reformas estruturais e organizacionais e como se darão neste espectro social? Quais os riscos à segurança e à saúde do trabalhador?

### ***Precarização do trabalho e as inovações tecnológicas***

O primeiro questionamento apresentado acima traz à tona os temas éticos e morais, enquanto o segundo vem de encontro com a *práxis* das políticas públicas para o mundo do trabalho. Neste momento, abordaremos um pouco de cada, tentando dar conta da complexidade que caracteriza as vidas humanas, com maior destaque à segurança e à saúde do trabalhador.

Antes, faz-se necessário conceituar o que se entende por *inovação tecnológica* e qual sua tipologia para que essa não seja uma discussão vaga ou de amplitude desconexa. Segundo o IBGE (2016), inovação tecnológica pode ser definida como a “introdução no mercado de um produto (bem ou serviço) que seja novo ou substancialmente aprimorado pelo menos para a empresa, ou pela introdução na empresa de um processo que seja novo ou substancialmente aprimorado pelo menos para a empresa”. Apresentamos aqui alguns tipos derivados desta conceituação inicial:

- *Atividades inovativas*: referem-se aos esforços empreendidos pela empresa no desenvolvimento e na implementação de produtos (bens ou serviços) e processos novos ou aperfeiçoados. A pesquisa procura mensurar estes esforços por meio de uma escala de importância para a empresa e em termos monetários, por meio da estimativa dos dispêndios nestas atividades;
- *Inovação organizacional*: compreende a implementação de novas técnicas de gestão ou de significativas mudanças na organização do trabalho e nas relações externas da empresa;
- *Inovação de marketing*: consiste na implementação de novas estratégias ou conceitos de *marketing* ou de mudanças significativas na estética, no desenho ou na embalagem dos produtos, sem modificar suas características funcionais e de uso.

## ***Os riscos das novas tecnologias***

Quais os riscos que corremos com as novas tecnologias? Segundo um estudo da *Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico* — OCDE (MILLER et al., 1998), três riscos potenciais podem ser identificados com o avanço das novas tecnologias. O primeiro risco apontado é que as novas tecnologias têm *um potencial destrutivo muito grande e difícil de controlar*, representando uma ameaça ao ser humano e ao meio ambiente. Esta ameaça pode ser efetivada por um acidente ou mau uso da tecnologia:

*[...] por acidente ou por má vontade, os avanços e a difusão da engenharia genética podem dar origem a doenças não intencionadas ou imprevistas; vulnerabilidades ecológicas e armas de destruição em massa. A dependência de computadores, redes [de comunicação] e de softwares poderia deixar partes críticas dos sistemas de apoio à vida da sociedade, desde centrais nucleares e sistemas médicos até instalações de segurança e de tratamento de água e esgoto, abertos tanto para acidentes imprevisíveis e catastróficos; como para ataques intencionais. (MILLER et al., 1998, p. 14, tradução nossa)*

Na perspectiva do mundo do trabalho, vale lembrarmos da prevenção de riscos ambientais. A nanotecnologia e a biotecnologia estão em fase plena de desenvolvimento, entretanto, o conhecimento concreto dos riscos à saúde e das questões de segurança, tanto para o consumidor, quanto para o trabalhador ainda não tem uma grande ênfase. A falta de informação, a velocidade e a complexidade das mudanças tecnológicas podem dificultar o encontro de profissionais capazes de fazer análise de projetos de novas instalações, métodos ou processos de trabalho ou de modificação dos já existentes, visando a identificar os riscos potenciais e a adoção de medidas de proteção para sua redução ou eliminação.

A segunda preocupação advém da característica sistêmica desta quarta fase de desenvolvimento tecnológico, o *impacto sistêmico*, em grande parte relacionado à integração em rede, o que pode proporcionar a vulnerabilidade de sistemas integrados, como o controle de tráfego aéreo. Algumas pessoas temem, ainda, que o mundo se torne mais diversificado, descentralizado e dependente das tecnologias. Enfim, há um grande risco de falta de controle destas redes integradas.

O terceiro risco apontado está relacionado com *valores éticos e ideológicos*. Acredita-se que o desenvolvimento de tecnologias, como a clonagem humana e a inteligência artificial, traga desafios para os valores éticos e os padrões sociais. Imaginemos que, por meio da biotecnologia, seja possível identificar as potencialidades do funcionário que se deseja contratar, entretanto, isso também pode ser usado para justificar a exclusão de pessoas e a criação de ideologias separatistas.

## ***Precarização social do trabalho***

*Amélie é uma garota francesa de 24 anos de idade, moradora da região sul de Paris. Ela é graduada em ciências da computação, um setor profissional e de estudos dominado por homens. Depois de obter seu diploma de mestrado, ela passou a procurar um emprego no setor de TI. Depois de dois anos, ela estava extremamente desapontada, pois, apesar de possuir um diploma de nível superior, tinha acesso apenas a subempregos ou empregos mal remunerados (trainee), empregos temporários ou sem vínculo empregatício. Como mulher, ela se sentiu discriminada durante os procedimentos de recrutamento. Por exemplo, quando os recrutadores perguntavam se ela queria ter filhos, quando e quantos. Agora ela está muito preocupada com sua situação, pois depende do namorado para sobreviver financeiramente. Há um ano, sem perspectivas em vista, ela decidiu mudar de profissão e se tornar professora de escola pública. Agora ela está se preparando para conseguir um emprego público, mas continua preocupada em razão dos recentes cortes no setor e da existência ou não de postos de trabalho. (MCKAY, 2012, p. 51, tradução nossa)*

O trabalho precário pode ser, por exemplo, conceituado em oposição ao trabalho decente, conforme preconiza a Organização Internacional do Trabalho — OIT (MTE, 2006, p. 5 apud DRUCK, 2011). Esta aponta o trabalho decente como aquele produtivo e adequadamente remunerado, exercido em condições de liberdade, equidade e segurança, sem quaisquer formas de discriminação e capaz de garantir uma vida digna a todas as pessoas que vivem dele. Entretanto, a *precarização social do trabalho* é um fenômeno amplo e complexo, em constante mutação, no sentido de que, dentro de suas dimensões, surgem e ressurgem novos e antigos desafios.

Ressaltamos que o trabalho precário apresenta diversas dimensões, entre elas: as formas de inserção e de contrato; a informalidade; a terceirização; a desregulamentação e a flexibilização da legislação trabalhista; o desemprego; o adoecimento; os acidentes de trabalho;

a perda salarial; e a fragilidade da representação sindical. Isso une a *classe que vive do trabalho* e os diversos locais onde a precarização se manifesta. Existem pontos convergentes nas formas precárias de trabalho e de emprego, caracterizadas por:

- Estruturação ou desestruturação do mercado de trabalho;
- O papel do Estado e sua proteção social;
- Práticas de gestão e organização do trabalho;
- Questão sindical e sua representação.

Considerando esses fatores, a precarização social do trabalho pode ser compreendida como um processo em que se instala – econômica, social e politicamente – uma institucionalização da flexibilização e da precarização moderna do trabalho, que renova e reconfigura a precarização histórica e estrutural do trabalho no Brasil, agora justificada pela necessidade de adaptação aos novos tempos globais (DRUCK, 2012). Para entender melhor, vejamos a tipologia da precarização social do trabalho que está intimamente ligada a este conceito de dimensões apresentado. São elas (DRUCK, 2012):

- Vulnerabilidade das formas de inserção e desigualdades sociais;
- Intensificação do trabalho e terceirização;
- Insegurança no trabalho e vulnerabilidade da saúde do trabalhador;
- Perda das identidades individual e coletiva;
- Fragilização da organização dos trabalhadores;
- A condenação e o descarte do Direito do Trabalho.

Vamos nos concentrar nas três primeiras formas para demonstrar os impactos das novas tecnologias sobre a precarização social do trabalho. Em primeiro lugar, considerando a vulnerabilidade das formas de inserção e as desigualdades sociais, há de se notar que enfrentamos velhos desafios, por exemplo, quando vemos a diferença salarial en-

tre homens e mulheres. No exemplo com o qual iniciamos este tópico, contamos a história de Amélie, moça francesa, de 24 anos, com mestrado em uma área promissora e tecnologicamente inovadora: Ciência da Computação. Entretanto, é uma área dominada por homens. A tecnologia não lhe garantiu a superação de um antigo desafio: *a desigualdade entre homens e mulheres no mercado de trabalho*. Além de não lhe garantir a superação desse antigo problema, também lhe trouxe um novo: a dificuldade de inserção ou a inserção precária no mercado de trabalho por meio de contratos temporários, sazonais ou de *trainee* que não lhe garantem a proteção social necessária para se desenvolver. Como consequência, foi levada a um mercado de trabalho historicamente mal remunerado e predominantemente feminino: professora de escola pública, além de permanecer na dependência da figura masculina para sua subsistência (namorado). Esta realidade francesa, aferida na situação de Amélie, é também uma realidade brasileira, na qual jovens, mulheres e negros estão entre aqueles que são mais vulneráveis no momento da inserção no mercado de trabalho.

*[...] em 2009, permanece um alto nível de desigualdade e de discriminação no mercado de trabalho, especialmente em relação às mulheres, aos negros e aos jovens, que continuam os segmentos mais precários de todos os trabalhadores. A taxa de desemprego das mulheres era de 11,1% contra 8,3% da dos homens; o desemprego dos jovens negros era de 18,8% e dos jovens brancos de 16,5%. Além dessa desigualdade étnica e de gênero, há também uma brutal diferença geracional, pois a situação de desemprego dos jovens é a mais grave de todas. (DRUCK, 2012, p. 46)*

Até o início do século XX, acreditava-se que a tecnologia faria com que o homem trabalhasse menos e conquistasse certa qualidade de vida. Entretanto, o que se tem notado é a intensificação do trabalho e a terceirização. A intensificação do trabalho se dá pela imposição de metas inalcançáveis, pela extensão de jornada de trabalho que pode estar ligada ao desenvolvimento tecnológico dos meios de comunicação móveis e pela integração em rede que possibilita o trabalho remoto, por exemplo. Até metade do século XX, o trabalhador tinha, em média, três trabalhos durante toda sua vida. Hoje, pode ter dezenas, e muitos

ao mesmo tempo. Adiciona-se aqui a questão da *polivalência*, em que o trabalhador necessita desempenhar diversas funções. Segundo Druck (2012, p. 46), esta situação é:

*Sustentada na gestão pelo medo, na discriminação criada pela terceirização, que tem se propagado de forma epidêmica, e nas formas de abuso de poder, através do assédio moral, que tem sido amplamente denunciado e objeto de processos na Justiça do Trabalho e no Ministério Público do Trabalho.*

Uma pesquisa realizada pela Federação dos Professores do Estado de São Paulo (Fepesp) e pelo Instituto Datafolha, intitulada *Uso de tecnologia dentro e fora de salas de aula*, ouviu professores do ensino superior em 2016 no Estado de São Paulo e aferiu que:

*[...] no ensino superior privado de São Paulo maioria dos professores fica ligado “24 horas por dia” e não é pago por isso. Ensino a Distância aumenta alcance, mas não resolve dúvidas do estudante, tutor deve ter a mesma formação do professor na matéria. (AUMENTO..., 2016)*

Uma das características deste momento chamado de Quarta Revolução Industrial é a ideia de *profundidade e amplitude*, proporcionada pela interligação em rede, influenciando no “o quê” e no “como” produzimos. A interligação em rede possibilita também a terceirização, inclusive sua forma conhecida como *international outsourcing* (terceirização internacional). A terceirização, quando não devidamente regulamentada, pode implicar redução de salários e de proteção social. Citamos aqui um case específico sobre *international outsourcing*, no qual um dos efeitos imediatos foi a defasagem salarial:

*Devido ao crescimento da terceirização internacional da produção, o efeito da terceirização internacional sobre os salários tornou-se uma importante questão política. Por exemplo, em março de 1996, funcionários da General Motors (de uma fábrica em Ohio) entraram em greve para protestar contra o aumento da terceirização da produção para países de baixa renda. Em outubro*

*de 1995, os funcionários da Boeing (em Kansas, Washington e Oregon) entraram em greve para protestar contra o compromisso da Boeing de terceirizar metade do valor [de produção] de jatos médios, principalmente para a China. (GLASS; SAGGI, 2001 tradução nossa)*

Assim, chegamos à terceira forma de precarização, a de *insegurança no trabalho e vulnerabilidade da saúde do trabalhador*. A tecnologia em si não garante bem-estar ao trabalhador, como já dissemos. E pensando efetivamente no emprego em casos concretos, a *intensificação do trabalho* pode gerar maior exposição a riscos ambientais e a novos riscos ainda desconhecidos, aumentando a prevalência e a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais.

O Japão é o 16º país no Ranking Global da Inovação Tecnológica (2016),<sup>15</sup> mas ainda tem um grande número de suicídios em razão de fadiga por excesso de trabalho, conhecido como *karojisatsu*. Em abril de 2015, Matsuri Takahashi, uma jovem de 24 anos recém-graduada na Universidade de Tóquio, ingressou em uma gigante japonesa de publicidade. Ela foi lotada na divisão de anúncios para internet. Após seis meses, a empresa reduziu o número de funcionários daquele setor de 14 para seis. Matsuri passou a trabalhar quase 100 horas extras por mês. Por meio de uma rede social, a moça desabafou sobre seu trabalho e o assédio que sofria de seu chefe imediato, dizendo: “Decidiram que preciso trabalhar aos sábados e aos domingos”. Enquanto isso, o chefe dela dizia: “Esta sua cara de sono mostra que você é incapaz de gerenciar seu trabalho” ou “Você não é feminina!”. Na manhã de Natal daquele mesmo ano, oito meses depois de ingressar na empresa, Matsuri suicidou-se.

*Segundo a pesquisadora Hirata (2016, p. 16):*

*No Japão, conforme relatado em The Daily Yomiuri, em 6/3/2011, estatísticas oficiais do governo japonês da National Police Agency mostraram*

---

<sup>15</sup> Nota da revisão: no Índice Global de Inovação 2020, o Japão repetiu sua posição de 2016, mantendo-se como 16º colocado. Disponível em: [https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/pt/wipo\\_pub\\_gii\\_2020.pdf](https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/pt/wipo_pub_gii_2020.pdf). Acesso em: 22 jan. 2021.



*aumento do “karojisatsu” (suicídio por excesso de trabalho) e do “karoshi” (morte por excesso de trabalho, regulamentada entre as doenças profissionais em 1989) (AMAGASA et al., 2005). O “karojisatsu” bateu o record em 2010, décimo terceiro ano desde que se iniciou essa série estatística sobre causas dos suicídios (cf. publicado em Yomiuri Shinbum em 4/3/2011). As duas mais importantes razões entre as causas identificadas são problemas de saúde e problemas econômicos (“não encontra trabalho”), mas 710 casos são explicitamente relacionados ao excesso de fadiga, 587 casos às relações pessoais no local de trabalho, 478 casos a erros cometidos no trabalho. As três últimas causas totalizam 1.775 suicídios, quase 150 por mês, bem superior às estimativas dos suicídios relacionados ao trabalho na França (mas, no caso desse país, a população economicamente ativa é menor).*

O país que lidera o Ranking Global da Inovação Tecnológica, a Suíça, também apresenta problemas com a *intensificação do trabalho* dos profissionais de saúde. Os médicos suíços têm sofrido esgotamento em razão de reformas nos sistemas de saúde que afetam a autonomia, o prestígio e os ganhos salariais. Isso tem ocasionado esgotamento e depressão (ARIGONI; BOVIER; SAPPINO, 2010).

## *Considerações finais*

O Brasil vive um momento de inovação. A Pesquisa de Inovação do IBGE — PinteC (IBGE, 2016) mostrou que, em 2014, 3,4% das empresas inovadoras engajaram-se em atividades da biotecnologia em empresas da indústria, eletricidade e gás e serviços selecionados. Para a nanotecnologia, este percentual foi de 1,8% das inovadoras – 2.583 empresas declararam ter realizado alguma atividade relacionada com o uso, a produção, a pesquisa e o desenvolvimento em biotecnologia —, ao passo que 975 desenvolveram tais atividades para a nanotecnologia. Desse modo, registra-se um aumento de 41,9% no número de empresas com atividades em biotecnologia, por um lado, e uma queda de 13,8% no número de empresas com atividades em nanotecnologia por outro, com relação ao período anterior (2011).

Nos serviços selecionados, as empresas que responderam realizar atividades em nanotecnologia concentraram-se principalmente nos setores de telecomunicações; nos serviços de arquitetura e engenharia, em testes e análises técnicas, e em pesquisa e desenvolvimento. No setor de telecomunicações, todas as nove empresas inovadoras foram usuárias finais de nanotecnologia.

Os casos da jovem francesa Amélie, da japonesa Matsuri e das empresas citadas em pesquisa não podem ser vistos pelos brasileiros como algo distante. Eles demonstram o impacto sistêmico das novas tecnologias na organização e na estrutura do mundo do trabalho e ensejam estudos que verifiquem as consequências para a segurança e a saúde do trabalhador, considerando toda a complexidade social, não se restringindo apenas a aspectos técnicos e científicos dos materiais. Enfim, deve-se considerar que o impacto das novas tecnologias diante do fenômeno da precarização social do trabalho é tão abrangente, profundo e rápido quanto a fase de inovações que estamos vivendo.



## Referências

- AMAGASA, T.; NAKAYAMA, T.; TAKAHASHI, Y. Karojisatsu in Japan: characteristics of 22 cases of work-related suicide. **Journal of occupational health**, v. 47, n. 2, p. 157-164, 2005.
- ARIGONI, F.; BOVIER, P. A.; SAPPINO, A. P. Trend of burnout among Swiss doctors. **Swiss Med Wkly**, v. 140, p. 13.070, 2010.
- BLOEM, J. *et al.* **The fourth industrial revolution**: things to tighten the link between it and ot. SOGETI, 2014. Disponível em: <https://www.sogeti.com/globalassets/global/special/sogeti-things3en.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2017.
- COMISSÃO EUROPEIA. **Nanotecnologias**: inovações para o mundo de amanhã. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2004.
- DRUCK, G. Trabalho, precarização e resistências: novos e velhos desafios? **Caderno CRH**, v. 24, n. 1, 2012.
- DUTTA, S.; LANVIN, B.; WUNSCH-VINCENT, S. **The global innovation index 2016**: winning with global innovation. Ithaca: Johnson Cornell University, 2016.
- FEPESP. **Aumento de trabalho sem remuneração**. 2016. Disponível em: <https://www.sinpro-abc.org.br/index.php/noticias/2283-aumento-de-trabalho-sem-remuneracao.html> Acesso em: 26 jul. 2021.
- GLASS, A. J.; SAGGI, K. Innovation and wage effects of international outsourcing. **European Economic Review**, v. 45, n. 1, p. 67-86, 2001.
- HIRATA, H. Trabalho, gênero e dinâmicas internacionais. **Revista da ABET**, 2016.
- IBGE. **Pesquisa de Inovação**: 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv99007.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2017.
- KEYNES, J. M. Economic possibilities for our grandchildren. *In*: **Essays in persuasion**. London: Palgrave Macmillan, 2010. p. 321-332.
- KLAUS, S. The fourth industrial revolution. *In*: World Economic Forum (January 14, 2016). Disponível em: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/> Acesso em: 26 jul. 2021.

- MARX, K. **Capital**: a critique of political economy. Tradução de Samuel Moore e Edward Aveling. Chicago: Charles H. Kerr & Company, 1909. v. I.
- MCKAY, S. *et al.* **Study on precarious work and social rights**. London: Working Lives Research Institute/London Metropolitan University, 2012.
- MILLER, R. *et al.* **21st century technology** promises and perils of a dynamic future. Paris: OECD, 1998.
- MORE, T. **Utopia**. Tradução de Anah de Melo Franco. Brasília: Editora UNB, 2004.
- PAULA, J. A.; CERQUEIRA, H. E. A. G.; ALBUQUERQUE, E. M. **Ciência e tecnologia na dinâmica capitalista**: a elaboração neo-schumpeteriana e a teoria do capital. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 2001. (Texto para discussão, 152).
- POCHMANN, M. O trabalho em três tempos. **Ciência e Cultura**, v. 58, n. 4, p. 29-31, 2006.
- ROSENBERG, N. **Perspectives on technology**. London: Cambridge University Press, 1976.
- SINPRO-ABC. **Aumento de trabalho sem remuneração**. Santo André: SINPRO-ABC. 2016. Disponível em: <https://www.sinpro-abc.org.br/index.php/noticias/2283-aumento-de-trabalho-sem-remuneracao.html>. Acesso em: 26 jul. 2021
- THEBAUD-MONY, A. Precarização social do trabalho e resistências para a (re) conquista dos direitos dos trabalhadores na França. **Caderno CRH**, Salvador, v. 24, p. 23-35, 2011.
- WEBER, M. **Ciência e política**: duas vocações. 12. ed. Tradução de Leonidas Hegenberg e Octayn Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix, 2004.



Capítulo VII

**NANOTECNOLOGIAS  
E O DIREITO**



## *Apresentação*

*Wilson Engelmann e Raquel von Hohendorff*

Como assim? Você estuda Direito e nanotecnologias? Qual a relação entre dois campos tão diferentes do conhecimento? Não é possível... Após muito ouvir este questionamento em diferentes locais de saber (eventos, congressos, círculos universitários) necessária se faz, ao introduzir um capítulo de livro que versa sobre Direito e Nanotecnologias, a tentativa de esclarecer.

As nanotecnologias fazem parte hoje do nosso dia como consumidores dos mais diferentes produtos, entre eles cosméticos, produtos de limpeza, equipamentos tecnológicos, medicamentos, roupas e sapatos, produtos para tratamento de água, materiais para construção civil, entre outros. Desta forma, não se trata mais de ideias de um filme de ficção científica, mas sim de uma realidade já vivenciada na nossa atual sociedade, e que, por isso, exige um olhar por parte do Direito que não pode mais ficar alheio a todas as transformações que surgem por conta destas novas tecnologias.

A nanotecnologia tem importantes reflexos no direito, com inúmeros impactos, especialmente éticos, sociais e também ambientais, especialmente vinculados a alguns princípios gerais do Direito, entre eles precaução e informação. As relações de trabalho e o meio ambiente podem ser citadas como áreas possivelmente mais atingidas, e é justamente nestes aspectos que existe um temor maior em relação a retrocessos em questões de saúde e proteção.

O Direito não está fora do âmbito do impacto do uso das novas tecnologias e, em função das incertezas geradas, a previsibilidade e a certeza tradicionalmente elementos muito presentes na área jurídica, hoje já não ocupam mais este espaço e estão sendo rediscutidos.

Assim, pesquisar as interfaces entre as Nanotecnologias e o Direito Brasileiro, abordando o pouco que é conhecido, as indefinições, os aspectos que ainda precisam de maiores estudos continuados a longo prazo, e propor avanço na discussão sobre a inovação no/do Direito, frente a esta nova realidade em desenvolvimento, tornam-se necessá-



rios. As nanotecnologias provocarão como legado, no Direito, uma revolução, uma vez que exigirão a tomada de posicionamentos jurídicos e não apenas legalistas, ou seja, exigirão inovação no/do Direito.

*Para que o Direito consiga dar conta dos desafios trazidos pelos avanços das nanotecnologias, deverá abrir-se para dois caminhos: perpassar outras áreas do conhecimento que poderão ajudá-lo a compreender a complexidade das realidades que as nanotecnologias viabilizarão e deixar ingressar as ideias vindas de outras áreas e saberes.<sup>1</sup>*

Além disso, outra perspectiva será promover a juridicidade a textos com os mais variados formatos, oriundos de agências reguladoras, órgãos de normalização e outros atores, flexibilizando a estruturação de efeitos jurídicos, para muito além da produção legislativa. Aqui, se encontram as condições de possibilidade para a inovação no/do jurídico na Era Nanotech.

---

<sup>1</sup> NASCIMENTO, M. C. S. A.; ENGELMANN, W. Nanotecnologia e direito: da estrutura jurídica tradicional ao diálogo entre as fontes do direito. **Revista do Programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**, v. 37, n. 1, p. 199-221, jan./jun. 2017. p. 202.

# ***Risco ambiental proporcional e o tratamento jurídico da nanotecnologia a partir da precaução***

*Reginaldo Pereira*

## ***Introdução***

A incerteza científica acerca da toxicidade das nanopartículas engenheiradas e o vazio regulatório representam o grande problema vinculado às pesquisas e às utilizações, em escala fabril, da nanotecnologia. As partículas em nano escala se comportam de forma diferente do que as partículas em escala maior, do mesmo material. Somente a redução de tamanho, sem qualquer mudança na substância, altera as propriedades dos materiais, dotando-os de características distintas daquelas que apresentam na escala macro, como maior solubilidade, maior resistência ao calor e maior condutividade elétrica.

Tais características tornam a nanotecnologia atraente para as indústrias, que vêm explorando as mudanças nas propriedades dos nano-objetos para criar novos produtos e mercados e expandem o mercado atual dos nanomateriais. Os impactos das nanopartículas sobre o meio ambiente e a saúde humana podem ser enormes. Em maio de 2004, a Comissão da União Europeia, por meio da Direção Geral da Saúde e Defesa do Consumidor, publicou um informe advertindo que algumas das nanopartículas engenheiradas são motivos de sérias preocupações, e que não se pode prever os efeitos adversos das nanotecnologias a partir da toxicidade do material, em sua versão macro. O informe recomendou ainda a eliminação ou a redução ao mínimo da produção e da liberação involuntárias de nanopartículas (EUROPEAN COMMISSION, 2004). A incerteza que acompanha a nanotecnologia remete necessariamente à precaução.

## *A precaução*

É adotada como um dos princípios basilares do direito ambiental. Tal princípio está ligado à gestão de risco no caso de incerteza científica.

Face à irreversibilidade de certas agressões ao meio ambiente e à incerteza científica dos efeitos sobre processos complexos, a ignorância quanto às consequências a curto e a longo prazo de certas ações não pode servir de pretexto para postergar a adoção de medidas visando à prevenção da degradação do meio ambiente (PRIEUR, 2004). O princípio da precaução (*vorsorgeprinzip*) integra o direito alemão desde a década de 1970, ao lado dos princípios da cooperação e do poluidor pagador e foi contemplado em diversos documentos internacionais, entre os quais: o Tratado da Comunidade Europeia. Nele, explicitou-se o princípio da precaução como medida preventiva na adoção de políticas do meio ambiente; o Tratado de Nice: por meio deste, ratificaram-se os mesmos dispositivos ambientais à União Europeia, visando a impedir danos ao meio ambiente; a Convenção-quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, de 1992, ratificada pelo Decreto Legislativo n. 1, de 3 de fevereiro de 1994; e a Convenção sobre Diversidade Biológica, ratificada pelo Decreto Legislativo n° 2, de 03 de fevereiro de 1994 (MACHADO, 2002, p. 53-58) e pelo artigo 15 da Declaração do Rio de Janeiro de 1992.

No texto sobre os 30 anos do Direito Constitucional português com relação a seu viés ambiental, Canotilho (2007) destaca a existência de duas gerações de problemas ecológicos, diferenciando-as em razão dos seus efeitos. Estes são localizados nos de primeira geração, combinados e globais (efeito estufa, destruição da camada de ozônio, mudanças climáticas e destruição da biodiversidade); e nos de segunda – e pela forma como são percebidos. Ao contrário dos de primeira geração, os últimos apresentam dimensões que apontam para: “[...] uma sensibilidade ecológica mais sistêmica e cientificamente ancorada e para a relevância do pluralismo legal global na regulação das questões ecológicas” (CANOTILHO, 2007, p. 2).

Como uma possibilidade à resolução dos problemas ecológicos de segunda geração, o autor sugere a implementação do Estado de Direito democrático e ambiental, o qual, por meio de uma juridicidade ambiental, garantiria uma democracia sustentável, a partir da responsabilidade de longa geração, da solidariedade entre nações e da noção de risco ambiental proporcional. Este último conceito é analisado a partir de três princípios: o da proporcionalidade dos riscos; o da proteção dinâmica do direito ao ambiente; e o da obrigatoriedade da precaução.

Canotilho (2007, p. 10) assim formula o princípio da proporcionalidade dos riscos: “[...] a probabilidade da ocorrência de acontecimentos ou resultados danosos é tanto mais real quanto mais grave forem as espécies de danos e os resultados danosos que estão em jogo.” Esta fórmula evidencia que o risco não pode ser determinado sem que o potencial danoso seja levado em consideração.

O princípio da proteção dinâmica encontra-se relacionado com o estado, a evolução e o progresso dos conhecimentos da técnica de segurança e pode ser formulado pelo binômio grau de aceitabilidade de riscos e conhecimento acerca de sua efetivação. Do ponto de vista do direito constitucional, só são aceitáveis os riscos de agressão ao direito ao ambiente que não sejam previstos segundo os critérios de segurança probabilística mais atual (CANOTILHO, 2007). Em outros termos, o nível de proteção do meio ambiente torna-se mais rígido conforme se acumule conhecimento sobre os efeitos danosos das atividades. Por conta disso, não há de se cogitar em direito adquirido em matéria ambiental, entre outros efeitos.

O princípio da obrigatoriedade da precaução informa que a ausência de certeza científica absoluta não desvincula o Estado do dever de assumir a responsabilidade de proteção ao meio ambiente, por meio do reforço dos padrões de precaução e prevenção e de regras densificadoras das incertezas científicas, dentre as quais se incluem novos modelos probatórios, como a inversão do ônus da prova, as conferências de consenso e os *standards* de fiabilidade probatória (CANOTILHO, 2007).

## ***Risco ambiental proporcional, precaução e nanotecnologia***

O conceito de risco ambiental proporcional, em sua tripla dimensão – proporcionalidade dos riscos, proteção dinâmica e obrigatoriedade da precaução – afigura-se como a ‘pedra de toque’ para o tratamento jurídico da nanotecnologia. Segundo Aragão (2008, p. 14):

*Um dos fatores que contribuiu, de forma determinante, para as dúvidas e receios que atualmente envolvem o princípio da precaução, foi a rapidez da sua disseminação no discurso político, jornalístico, e até na linguagem comum. Tal como já aconteceu com o princípio do poluidor pagador, cuja banalização conduziu a uma compressão do seu conteúdo, até ficar reduzido a uma mera dimensão sancionatória do Direito Ambiental, também a vulgarização da ideia de precaução, como bordão de linguagem, contribuiu definitivamente para descredibilizar a precaução, enquanto princípio jurídico.*

A autora procura desmistificar o princípio da precaução, contrapondo-se a uma parte da doutrina que o identifica como um princípio de medo ou de irracionalidade. Pelo contrário, para Aragão (2008) a precaução é um princípio racional e cientificamente fundado de responsabilidade pelo futuro. As possibilidades de se garantir a não ocorrência de nanopoluição e a salubridade e a segurança do meio ambiente quando se manipulam e liberam nano-objetos na natureza dependem do conhecimento sobre os nanomateriais e seus impactos. Atualmente, existem lacunas no que se sabe sobre os nanomateriais, traduzíveis pela constatação de que as informações sobre seus perigos e riscos, bem como sobre a exposição a tais compostos, são incompletas.

Que princípios podem ser definidos para a medição e o monitoramento dos perigos, riscos, modo e tempo de exposição a nanoestruturas? Quais são os requisitos mínimos para a avaliação de riscos? É completamente necessária uma avaliação baseada na saúde? As respostas a tais questões representam os pontos iniciais para a identificação dos riscos, para a superação de lacunas ou *gaps* de conhecimento sobre

a nanotecnologia e seus riscos. As evidências sobre o grau de incerteza acerca dos riscos e perigos advindos da nanomanipulação demandam duas medidas básicas: o preenchimento das lacunas de conhecimento e a aproximação preventiva a esta nova tecnologia, fundamentada, é claro, no 15º princípio da Declaração do Rio de Janeiro de 1992, que trata da precaução. Em função dos *gaps* de conhecimento acerca dos efeitos dos materiais nanoestruturados sobre, principalmente, a saúde humana e a qualidade ambiental, defende-se a adoção do princípio da precaução por instituições governamentais, atores industriais, organizações patronais, sindicatos e ONGs. Todavia, o que significa; quando é suficiente; e como operacionalizar dito princípio, com relação ao ambiente de trabalho com nanomateriais, são questões que permanecem abertas (BROEKHUIZEN, 2012).

A aplicação do princípio da precaução envolve deliberação sobre questões normativas envolvendo aspectos relativos ao debate político – ação política em vez da inação; ao estabelecimento de níveis de proteção, pelo mapeamento de efeitos adversos; à definição de prioridades, por meio da substituição de análises que levem em consideração apenas o custo-benefício e a adoção de outras pautadas na manutenção da saúde e da qualidade ambiental; à escolha de um quadro de proteção, pautado em regras de imposição do ônus da prova da não maleficência aos agentes de pesquisa e produção e em padrões rígidos de avaliação de riscos antes da autorização; à ativação da aproximação precaucional, pautada na proporcionalidade – quanto maior o potencial danoso, maior a incidência da precaução – no monitoramento, no fornecimento de informações, na rastreabilidade e na rotulagem informativa; ao estado da arte e da ciência, como meio de clarear as incertezas, a falta de conhecimento, e dinamizar a aplicação do princípio da precaução e sua substituição pelo da prevenção, conforme o avanço acerca dos perigos de produtos, processos e serviços; e à identificação e aceitação de padrões de regulação, com vistas ao estabelecimento de níveis aceitáveis de saúde, por exemplo (BROEKHUIZEN, 2012).

O princípio da precaução de 2000 trabalha com o balanceamento de verdadeiros dilemas enfrentados constantemente pelas instâncias de decisão para estabelecer o equilíbrio entre, por um lado, as liberdades e os direitos dos indivíduos, das empresas e das organizações relativas à atividade econômica como um todo e, em especial, ao avanço das novas tecnologias e, por outro, a necessidade de reduzir os riscos

dos novos produtos ao meio ambiente e à saúde humana. A precaução altera o sistema de responsabilidades, em especial os relativos à prova da segurança de produtos, substâncias, processos e energias. Não cabe ao governo ou aos usuários demonstrarem o dano ou os riscos que determinado produto oferece. Tal ônus incumbe ao fabricante ou ao fornecedor, os quais têm a tarefa de demonstrar que seus produtos são seguros e podem ser utilizados com segurança. No processo de produção e comercialização, a precaução impõe aos agentes econômicos deveres de comunicação ao longo de toda a cadeia produtiva e a avaliação crítica dos riscos do produto durante sua fabricação e após sua comercialização (BROEKHUIZEN, 2012). Como se infere, a ausência de conhecimento sobre os efeitos da nanotecnologia eleva a precaução a princípio basilar para a construção de qualquer marco regulatório que pretenda proteger de maneira satisfatória a saúde humana e o meio ambiente.

## *Referências*

ARAGÃO, A. Princípio da precaução: manual de instruções. **Revista do CEDOUA**. n. 22, v. 11, p. 9-57, 2008.

BROEKHUIZEN, P. V. **Risk identification and exposure assessment of nanomaterials**. *In*: SEMINÁRIO INTERNACIONAL NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E AMBIENTE, 9., 2012, São Paulo.

CANOTILHO, J. J. G. Direito constitucional ambiental português: tentativa de compreensão de 30 anos das gerações ambientais no direito constitucional português”. *In*: \_\_\_\_\_.; LEITE, J. R. M. (Org.). **Direito constitucional ambiental brasileiro**. Rio de Janeiro: Saraiva, 2007, p. 1-11.

EUROPEAN COMMISSION. **Nanotechnologies**: a preliminary risk analysis on the basis of a workshop organized in Brussels on 1–2 March 2004 by the health and consumer protection directorate general of the European Commission. Community Health and Consumer Protection, 2004. Disponível em: [https://ec.europa.eu/health/ph\\_risk/documents/ev\\_20040301\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/health/ph_risk/documents/ev_20040301_en.pdf). Acesso em: 27 abr. 2016.

PRIEUR, M. **Droit de l'environnement**. 5. ed. Paris: Dalloz, 2004.

SUNSTEIN, C. R. **Laws of fear**: beyond the precautionary principle. New York: Cambridge University Press, 2005.





## ***Modelos regulatórios para as nanotecnologias: entre a hard law e a soft law***

*Wilson Engelmann e Raquel von Hohendorff*

As nanotecnologias trazem consigo um cenário ambivalente e paradoxal, pois, por um lado, as possibilidades abertas pelo acesso à escala nanométrica são gigantescas e em um grande número de setores; por outro lado, os desafios trazidos pelos riscos ainda são, em grande parte, desconhecidos. Os riscos se encontram na combinação da probabilidade da exposição e dos efeitos adversos que poderão ser gerados nesse cruzamento. Vale dizer que existe uma chance de surgimento de adversidades na saúde humana, na qualidade de vida ou na qualidade ambiental (DANISH MINISTRY OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2011). Outro ingrediente para ser considerado se relaciona com o número de produtos fabricados a partir das nanotecnologias ou que contenham nanopartículas vem crescendo exponencialmente. Segundo a Nanodatabase (2016), existem 2.329 produtos comerciais que contêm nanomateriais, ou seja, que declaram alguma interface com a escala nanométrica. De fato, provavelmente, este número deve ser muito maior, considerando que a declaração é voluntária, com exceção de alguns poucos países.

No panorama assim desenhado, se projetarão as questões regulatórias e as comunicações que se estabelecem, ou que se deveriam estabelecer, entre os sistemas da política, do Direito e da ciência. Portanto, este capítulo pretende trazer algumas das discussões sobre a regulação das nanotecnologias, especialmente em torno das categorias que integram a *hard law* e a *soft law*. Propõe-se a estruturação de três categorias normativo-regulatórias, conforme se pode vislumbrar no Quadro 1, a seguir:

**Quadro 1** Categorias normativas

Nível	Descrição	Categoria	Desafios
Primeiro nível	Regulação estatal-legislativa	<i>Hard law</i>	Acompanhar as rápidas modificações no cenário da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento
Segundo nível	Regulação que mescla as perspectivas públicas e privadas (agências reguladoras e organismos normalizadores)	Hibridização entre <i>hard</i> e <i>soft law</i>	Harmonização regulatória; a promoção de sua obrigatoriedade, sem a intervenção legislativa
Terceiro nível	Regulação estabelecida por empresas privadas	<i>Soft law</i>	Arcabouço normativo que atenda exclusivamente à parte empresarial; necessidade da construção de uma ética empresarial.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o primeiro nível, entende-se que a *hard law* representa a produção normativa própria do Poder Legislativo, no exercício de sua função típica de legislar. No panorama internacional se constata iniciativas de *hard law*, em que os Estados intervêm na gestão dos riscos por meio da imposição do dever de informar o uso de nanopartículas como é o caso da Dinamarca, da Bélgica, da França e da Noruega, além da recente inclusão da Suécia. Estes países exigem das empresas a prestação de informação sobre os nanomateriais para seus inventários nacionais. Estas iniciativas nacionais foram tomadas já que não há

registro exigido pela União Europeia. As empresas suecas devem fornecer informações sobre os nanomateriais intencionalmente adicionados em produtos químicos e artigos, independentemente da concentração. Resíduos, alimentos e ração animal, produtos farmacêuticos, cosméticos e tinta de tatuagem estão isentos da apresentação de relatórios. Os primeiros registros incidirão em quantidades fabricadas e importadas durante 2018 (NANODATABASE, 2016). No Brasil, encontram-se alguns projetos de lei, conforme se observa no Quadro 2:

**Quadro 2** Projetos de Lei em tramitação

<b>Número do projeto</b>	<b>Temática</b>	<b>Tramitação atual</b>
PL 5.133/2013 Câmara dos Deputados	Regulamentar a rotulagem dos produtos da nanotecnologia e de produtos que fazem uso de nanotecnologias.	Arquivado em 31/01/2019.
PL 6.471/2013 Câmara dos Deputados	Dispõe sobre a política nacional de nanotecnologia, pesquisa e produção, o destino e o uso nanotecnológico no país.	Arquivado em 31/01/2019.
PL 1.456/2015 Estado de São Paulo	Regulamentar e tornar obrigatória a rotulagem de produtos de nanotecnologia e de produtos que dela fazem uso.	Aguardando entrar na pauta de votação da Assembleia Legislativa de São Paulo.
PL 19/2014 Estado do Rio Grande do Sul	Torna obrigatória e regulamenta a rotulagem de produtos das nanotecnologias e de produtos que fazem uso das nanotecnologias.	Arquivado em 02/08/2016.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Percebe-se a dificuldade de o sistema político responder – frente aos riscos e as incertezas das nanotecnologias – de forma tradicional na criação de marcos legais obrigatórios (*hard law*), formalmente instituídos pelos processos legislativos e administrativos clássicos. Assim, estão abertos distintos caminhos de regulação, por outros atores sociais que não o Estado, e mesmo agências reguladoras a ele vinculadas.

Nesse cenário, onde se localiza o segundo nível, caracteristicamente uma “hibridização regulatória” representada por interesses privados, mesclados aos interesses públicos, gera uma categoria normativa em que se podem identificar traços da *hard law* e da *soft law*, representada por recomendações, orientações e guias de boas práticas aplicadas por redes de organizações privadas e agências regulatórias estatais.

Nesse patamar, observam-se os movimentos operados nos Estados Unidos e nos países integrantes da União Europeia, resumidos nas seguintes operações não vinculadas à iniciativa do Poder Legislativo, embora com a participação do Estado por meio de suas agências, sem a pretensão de esgotar as estruturas normativas já criadas:

- *Estados Unidos*: em 24 de junho de 2014, o U.S. Food and Drug Administration (FDA) emitiu três documentos finais de orientação (*three final guidance documents*) relacionados com o uso da nanotecnologia em produtos regulados, incluindo substâncias de cosméticos e alimentos. Já em 5 de agosto de 2015, também por iniciativa da FDA, emitiu-se um documento final de orientação para o uso da nanotecnologia em alimentos para animais. O FDA também está aprimorando questões prioritárias para lidar com as nanopartículas em um maior nível de segurança, em que se podem destacar: o desenvolvimento de métodos de teste para avaliar a segurança dos produtos que utilizam nanomateriais (inclusive sua estabilidade e sua interação com sistemas biológicos); a estruturação de métodos de teste para avaliar a qualidade e a eficácia dos produtos que utilizam nanomateriais; e organizar normas a serem incorporadas na avaliação da segurança de produtos que

contêm nanomateriais ou não envolvem a aplicação da nanotecnologia (FDA, 2016). Nos Estados Unidos, também se destacam as contribuições inseridas no *Occupational Safety and Health Act* de 1970 (OSH Act), estabelecendo que os empregadores são responsáveis por promover um meio ambiente de trabalho segura e saudável. A Agência de Proteção Ambiental (*EPA*, sigla em inglês), atuando sob o *Toxic Substances Control Act* (TSCA) no controle de testes de produtos químicos manufaturados, importados e processados quando trazem riscos ou indicam preocupações relativas à sua exposição. Neste documento, se destacam a necessidade de notificação à autoridade ambiental sobre novas substâncias químicas depois de sua manufatura. Em alguns casos, existem produtos químicos produzidos na nanoescala, os quais são categorizados como novos produtos, quando são identificados como sendo produtos de novos usos. Cabe enfatizar a atuação da *National Institute for Occupational Safety and Health-NIOSH*, uma agência não regulatória, que conduz pesquisas e faz recomendações para prevenir lesões e doenças do trabalhador, incluindo a nanotecnologia no meio ambiente do trabalho (NIOSH, 2016).

- *União Europeia*: a Comissão Europeia tem mantido a decisão de não exigir o nanorregistro em caráter obrigatório. Isso significa que não haverá necessidade de informação obrigatória para os fabricantes de nanomateriais e nanoproductos, apesar dos numerosos apelos para a transparência dos Estados-membros da União Europeia, das ONGs e dos acadêmicos sobre quem e o quanto é produzido e para que é utilizado. Essas informações são vitais para qualquer tipo de avaliação de risco. O Regulamento Europeu sobre Produtos Químicos-REACH não inclui qualquer requisito

específico sobre nanos. No entanto, como o regulamento REACH abrange produtos químicos, sob qualquer forma ou tamanho, os nanomateriais são implicitamente cobertos. Em sua documentação de orientação sobre o registro de nanomateriais para efeitos do REACH, a Agência Europeia dos Produtos Químicos-ECHA relata explicitamente a utilização da Recomendação da Comissão Europeia-CE 2011/696/UE<sup>2</sup> (EUROPEAN COMMISSION, 2016). Já existem vários regulamentos da União Europeia-UE que mencionam especificamente nanomateriais. O primeiro regulamento a mencionar a nanotecnologia foi a regulamentação sobre aditivos em alimentos CE nº 1.333/2008. Desde então, outros regulamentos foram adaptados, como o Regulamento CE nº 1.223/2009 sobre produtos cosméticos; o de informação aos consumidores de alimentos, o Regulamento UE nº 1.169/2011; o de materiais plásticos de contato com alimentos, o Regulamento UE nº 10/2011; e o de produtos biocidas UE Regulamento nº 528/2012. No Brasil, poderia haver a atuação da Anvisa, que se equipara às mencionadas agências americanas e europeias. Nos termos da Agenda Regulatória 2015/2016, pode-se visualizar o Tema 74 – *Nanotecnologia relacionada a produtos e processos sujeitos à vigilância sanitária*; não concluído na Agenda Regulatória 2013/2014, para ampliar os debates e proporcionar qualificação de seus colaboradores no sentido de iniciar um processo regulatório (ANVISA, 2016). Destaca-se, ainda, a edição da Portaria nº 1.358/2014, do diretor-presidente da Anvisa, por meio da qual foi instituído o Comitê Interno de Nanotecnologia da Anvisa. Essa portaria foi publicada, no Diário Oficial da União em 21 de

---

<sup>2</sup> Disponível em: <<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2013/PT/3-2013-8887-PT-F1-1>>. Pdf. Acesso em 17 julho 2016.

agosto de 2014. Entre as atribuições do Comitê, está a elaboração de normas ou guias específicos para a avaliação e o controle de produtos que utilizam nanotecnologia. A portaria que instituiu o Comitê também prevê a criação de um banco de dados sobre nanopartículas ou nanomateriais relacionados à saúde e a elaboração de um plano de capacitação, entre outras atribuições. O Comitê conta com a participação de 12 áreas técnicas e teria a duração de um ano para desenvolver o seu trabalho (ANVISA, 2016a). Até o momento não se localizou na página da Anvisa qualquer resultado do trabalho deste Comitê. Isso permite concluir que a Anvisa ainda não dispõe de normas próprias para a avaliação de produtos que contenham alguma relação com as nanotecnologias. Neste conjunto, cabe destacar a atuação da OECD, que publicou estudo, datado de 2015, no qual se verifica inventário, informando que, desde 2006, já foram publicados 58 documentos trazendo diversas considerações sobre os riscos e os desafios da segurança dos nanomateriais manufaturados (OECD, 2015).

Para enfrentar os desafios globais, as nanotecnologias foram incluídas como tema-chave no âmbito da Abordagem Estratégica para a Gestão Internacional de Substâncias Químicas – Saicm (UNITAR, 2016). A International Organization for Standardization-ISO<sup>3</sup> também se situa neste nível, editando normas sobre diversas questões relacionadas com as nanotecnologias (ISO, 2016). Já a *soft law* é uma categoria normativa alternativa, por isso inserida no terceiro nível, que surge no espaço não preenchido pela atuação legislativa, ampliando a força privada do chamado pluralismo normativo. Este envolve novas formas de regulação das nanotecnologias geradas por organizações privadas (institutos de pesquisa e empresas). Vale dizer: a normatização deste

---

<sup>3</sup> Organização internacional independente, não governamental, que desenvolve normas internacionais que apóiem a inovação e forneçam soluções para os desafios globais. Disponível em: <https://www.iso.org/about-us.html>.



terceiro nível surge no espaço do déficit legislativo e das possibilidades geradas a partir das normas criadas pelas agências regulatórias e pelos outros organismos, exigindo a criação de códigos internos de condutas nas organizações, nos quais se possam projetar o cumprimento voluntário das normativas que apresentam baixo fator de obrigatoriedade. Ainda é um nível muito incipiente, que exigirá uma ética empresarial.

## *Referências*

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br>. Acesso em: 17 jul. 2016.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/anos-anteriores/instituto-comite-interno-de-nanotecnologia-da-anvisa>. Acesso em: 17 jul. 2016.

**DANISH MINISTRY OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. NanoRiskCat.** A conceptual decision support tool for nanomaterials. Denmark: The Danish Environmental Protection Agency, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. **REACH:** European regulation on registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals. Disponível em: <http://ec.europa.eu/growth/sectors/chemicals/reach/nanomaterials/>. Acesso em: 17 jul. 2016.

FDA. U. S. Food & Drug Administration. Disponível em: <http://www.fda.gov/scienceresearch/specialtopics/nanotechnology/default.htm>. Acesso em: 17 jul. 2016.

ISO. International Organization for Standardization. Disponível em: <https://www.iso.org/search.html?qt=nanotechnology&sort=rel&type=simple&published=on>. Acesso em: 17 jul. 2016.

NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. **Building a safety program to protect the nanotechnology workforce:** a guide for small to medium-sized enterprises. Cincinnati: Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health. DHHS (NIOSH) Publication n. 2016-102. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-102/pdfs/2016-102.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2016.

OECD. Organisation for Economic Cooperation and Development. OECD Environment, Health and Safety Publications. **Preliminary guidance notes on nanomaterials:** interspecies Variability Factors in Human Health Risk Assessment. Paris, 2015. (Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials, n. 58).

THE NANODATABASE. Disponível em: <https://nanodb.dk/en/>. Acesso em: 16 jul. 2016.

UNITAR. Disponível em: [https://unitar.org/search?text=nanotechnology&search\\_type=website](https://unitar.org/search?text=nanotechnology&search_type=website). Acesso em: 17 jul. 2016.

## Apêndice

O texto é o resultado parcial dos seguintes projetos de pesquisa desenvolvidos pelos autores:

- *Desenhando modelos regulatórios para nanomateriais no Brasil a partir da adaptação de estruturas normativas internacionais: especificando o cenário para o diálogo entre as fontes do Direito e a juridicização dos fatos nanotecnológicos*: Bolsa de Produtividade em Pesquisa do CNPq;
- *Observatório dos Impactos Jurídicos das Nanotecnologias: em busca de elementos essenciais para o desenvolvimento do diálogo entre as Fontes do Direito a partir de indicadores de regulação às pesquisas e produção industrial com base na nanoescala*: Edital Universal 14/2014 – CNPq;

*As nanotecnologias como um exemplo de inovação: em busca de elementos estruturantes para avaliar os benefícios e os riscos produzidos a partir da nano escala no cenário da pesquisa e inovação responsáveis (RRI) e dos impactos éticos, legais e sociais (ELSI)*: Apoio a Projetos de Pesquisa/Chamada CNPq/MCTI n. 25/2015 Ciências Humanas, Sociais e Sociais Aplicadas.



Capítulo VIII

**NANOTECNOLOGIAS  
E ÉTICA**



## *Apresentação*

*Luís Renato Balbão Andrade*

A ética talvez seja uma das mais sublimes e complexas criações do gênero humano. Ela é a base conceitual de como agimos em relação a nós mesmos, aos outros e ao ambiente do qual fazemos parte. Neste sentido, o desenvolvimento e a adoção de novas tecnologias (nanotecnologias) deveriam vir sempre acompanhados de uma ampla e irrestrita discussão ética sobre quais os valores envolvidos nestas atividades. Com a condução da segurança e da saúde no trabalho, isso não deve diferir.

Neste cenário, é possível dizer que a ética se distingue dos demais conjuntos de leis e normativas, porque ela é sobre o que deveria ser (e não necessariamente sobre o que é). Assim, ela tenta responder a perguntas como: Como eu sei o que é certo a fazer? Como vamos chegar a decisões baseadas em valores?

Com esta abordagem, é possível tentar responder a estas questões ancorando-se a quatro princípios éticos elementares:

- A autonomia: que deve incluir o respeito pelas pessoas, a priorização das necessidades e preferências, o apoio e a fomento à ação voluntária e a obtenção do consentimento plenamente informado, entre outros.
- A beneficência: entendida simplesmente como fazer o bem.
- A não maleficência: entendida como não causar dano (não fazer mal). Muitos autores entendem que o princípio da beneficência já contém, em seu âmbito, o princípio da não maleficência. Aqui, prefere-se destacar que fazer o bem (beneficência) não necessariamente quer dizer não fazer mal (não maleficência), já que não fazer nada (inação) pode causar dano, e não seria considerado fazer o bem.



- A justiça distributiva: entendida como a alocação igualitária entre riscos e benefícios.
- No final, será a ética que definirá se nosso desenvolvimento tecnológico foi ou não adequado e para quem esta adequação se prestou.

# *Nanotecnologia e ética<sup>1</sup>*

*Ineke Malsch; Foteini Psarra*

## ***Introdução***

Em 2003, uma organização canadense não governamental (ETC Group)<sup>2</sup> atentou para o fato de que novos produtos utilizando nanomateriais seriam introduzidos no mercado, destacando as telas de TV com dióxido de titânio e óxido de zinco. Até aquele momento, a pesquisa científica havia demonstrado que as propriedades das nanopartículas eram diferentes das propriedades em largas partículas dos mesmos materiais. Outros estudos sugeriam que a menor e mais fina partícula no ar causada pela poluição do ar era mais perigosa à saúde dos cidadãos do que várias partículas maiores. Mesmo assim, ainda que os produtores não sejam legalmente obrigados a testar os produtos com nanomateriais, isso porque já receberam permissão para introduzir produtos com largas partículas no mercado, eles entenderam não haver necessidade para testar o impacto dessas partículas ultrafinas no ar e no ambiente. Consequentemente, as organizações não governamentais (ONGs), auxiliadas pela intervenção do príncipe Charles, bem como de outras instituições no mundo, decidiram explorar os riscos potenciais e as questões éticas em nanotecnologia, bem como investir na avaliação de riscos e estudos para determinar se os nanomateriais eram tóxicos e se apresentariam qualquer risco à saúde e à segurança de trabalhadores, consumidores e meio ambiente.

Em alguns países e regiões, incluindo os Estados Unidos e a Europa, o corpo diretivo governamental, como as ONGs e as associações industriais, também estabeleceram diálogos sobre a governança em nanotecnologia. Como complemento, muitos governos da Europa e da União Europeia investiram em estudos que exploram também os aspectos éticos, legais e sociais da nanotecnologia. Por mais de dez anos, pesquisas significativas vêm sendo conduzidas no que se refere

---

<sup>1</sup> Traduzido por Alexandra Rinaldi (Fundacentro).

<sup>2</sup> Action Group on Erosion, Technology and Concentration (<https://www.etcgroup.org/>)

aos aspectos éticos e morais, entre outros aspectos da nanotecnologia envolvendo a opinião dos investidores, bem como dos consumidores, para que possam compreender como a pesquisa responsável e inovadora deve e pode ser implementada na tomada de decisões e em níveis operacionais. Este processo tem sido citado pelo projeto Nano2all,<sup>3</sup> fundado pelo Programa Horizonte 2020, da União Europeia. O projeto tem como objetivo organizar diálogos entre os investidores e cidadãos sobre pesquisa responsável e inovação em nanotecnologia na Europa, em conjunto com iniciativas similares, no Brasil e em outras partes do mundo, a fim de traçar rotas de inovação e de criar indústrias que passem a considerar a opinião e as preocupações advindas dos cidadãos. Neste capítulo, discutiremos mais o “faça você mesmo a ética” do que teorias éticas sob o viés acadêmico.

### *Ética do faça você mesmo em nanotecnologia*

Tradicionalmente, há uma divisão do trabalho entre as ciências naturais e os engenheiros, de um lado, e os cientistas sociais e os pesquisadores da área de humanas de outro. O primeiro grupo desenvolve novas tecnologias, enquanto o segundo investiga impactos dessas tecnologias em humanos, na sociedade e no meio ambiente. Na prática, isso significa discussões que envolvem ética, pela introdução de novas tecnologias no mercado. Em um estágio mais avançado, é difícil remediar qualquer implicação negativa. Este fato é conhecido como o dilema de Collingridge que diz que “quando a mudança for fácil, a necessidade para isso não pode ser vista; quando a necessidade pela mudança for aparente, a mudança se torna cara, difícil e com perda de tempo” (COLLINGRIDGE, 1980). De modo a superar este dilema, os tomadores de decisões da União Europeia, dos Estados Unidos e de outros países introduziram estratégias delegando responsabilidade e inovação nas pesquisas desde 2000. Todas as propostas postulantes a elegíveis a financiamentos são avaliadas em relação a seus aspectos éticos.

A nanotecnologia talvez tenha sido o primeiro caso de teste envolvendo aspectos legais, éticos e de avaliação em estágios iniciais de seu desenvolvimento. Nos primeiros anos, a divisão do trabalho en-

---

<sup>3</sup> Conheça em: [www.nano2all.eu](http://www.nano2all.eu)

tre os que desenvolvem tecnologia e os mitigadores das implicações à sociedade foi mantida. Mais recentemente, a ênfase vem mudando e sendo aprimorada para “a ética do faça você mesmo”, em que a responsabilidade em pesquisas e inovação deve ser colocada em prática pelas mesmas pessoas e organizações que introduziram tais tecnologias à sociedade. Um exemplo é o Programa Horizonte 2020, da União Europeia,<sup>4</sup> em que a pesquisa responsável é uma prioridade horizontal em todos os projetos criados. Todas as propostas, consideradas legais para arrecadação de fundos, estão sujeitas a uma leitura ética.<sup>5</sup>

Esta nova versão da responsabilidade em pesquisa e inovação implica na condução de que novas tecnologias, incluindo a nanotecnologia, devam ser vistas pelos cientistas, engenheiros e industriais como um treinamento ético da “ética do faça você mesmo”. Isso inclui três aspectos:

- Comprometimento com os regulamentos já existentes e conduta sobre ética descritas nos códigos (EUROPEAN COMMISSION, 2009)
- Adesão pessoal às virtudes e valores (SWIERSTRA & RIP, 2007)
- Divisão comum de responsabilidades para consequências potenciais (JONAS, 1979, VONSCHOMBERG, 2007).

O comprometimento com as regulações já existentes implica maior consciência dos envolvidos no processo de inovação das leis atuais e códigos de conduta que possam cobrir pesquisas e atividades em pesquisa. Este não é um processo que finda por si só, mas requer uma abordagem regular e sistemática, na forma de como adotar novas leis ou atualizar as já existentes. Além dessas obrigações sistêmicas, cada indivíduo cresceu com seus próprios valores éticos que contribuem para um mundo melhor. Alguns exemplos estão relacionados à dignidade humana, que contribuem para o bem e para o desenvolvimento sustentável.

Enquanto muitos não podem ser forçados a respeitar e a considerar tais virtudes e valores, outros, voluntariamente, os incluem em suas

---

<sup>4</sup> <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>

<sup>5</sup> <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/home.htm>

vidas. Em nível coletivo, ciência e tecnologia podem, por definição, introduzir impactos sem precedentes na sociedade e no meio ambiente. Isso leva a uma avaliação regular na prática de exercícios para identificação de possíveis riscos e benefícios potenciais sobre tecnologias, aplicações essas que ainda não fazem parte. Além disso, os primeiros sinais de qualquer risco potencial ou efeitos benéficos causados pela tecnologia em emergência devem ser continuamente monitorados e levados ao diálogo com o público. Neste, a política, os tomadores de decisão e os representantes dos investidores incluindo: pesquisadores, representantes da indústria e representantes dos trabalhadores, organizações não governamentais e organizações da sociedade civil, bem como cidadãos interessados, devem ser incluídos.

Todos esses participantes nesse processo de diálogo devem ser informados sobre os aspectos técnicos, econômicos, políticos e éticos das questões que serão colocadas. Para melhorar as chances na condução de um bom diálogo que contribua para a criação de governança responsável sobre a nova tecnologia, todos os investidores participantes desses diálogos devem ser treinados em técnicas efetivas de diálogo. O projeto Nano2all oferece esse treinamento junto com um teste para metodologias sobre diálogos em inovações.

### ***Inventário de questões nanoéticas e níveis de sensibilização da pesquisa responsável e inovadora (PRI)***

Cientistas da área de humanas e filósofos exploraram e listaram várias questões éticas relacionadas com as nanotecnologias (MALSCH, 2011). As principais delas foram listadas a seguir:

- Governança sobre riscos incertos dos nanomateriais e nanotecnologias;
- Questões éticas biomedicas relacionadas com a nanomedicina;
- Privacidade, vigilância e questões de segurança relacionadas com os nanoeletrônicos;
- Aceitação do consumidor sobre as aplicações da nanotecnologia na comida, nos cosméticos ou em outros produtos que sejam utilizados no corpo;
- Desenvolvimento sustentável em nanotecnologia (incluindo implicações ao ambiente e à pobreza mundial).

Com exceção do primeiro, governança sobre riscos, todos os outros pontos estão mais relacionados com o domínio da aplicação do quecom a própria nanotecnologia. Isso não significa que tenham sido solucionados, mas apenas que tais questões já foram discutidas e apresentadas anteriormente. Qualquer diálogo novo sobre ética e nanomedicina deve ser levado em consideração em questões referentes à ética biomédica.

De acordo com a revisão da literatura conduzida pelo projeto Nano2all na Europa, a visão dos investidores em pesquisa responsável e inovadora é muito positiva. Além disso, houve um denominador comum entre pesquisadores, os que implementam regulações e organizações não governamentais e civis. Isso foi necessário para melhorar a colaboração desses investidores (Quadro 1).

**Quadro 1** Oportunidades identificadas, obstáculos e necessidades de pesquisadores, tomadores de decisão e organizações não governamentais e sociedade civil

Oportunidades	Obstáculos	Necessidades	Recomendações
<p>Existência de coordenação em práticas de RRI e envolvimento público podem auxiliar na aceitação política, na pesquisa e na inovação</p> <p>Desenvolvimento de redes e parcerias científicas</p>	<p>Cultura científica de recompensas por publicações (não PRI)</p> <p>PRI não deve criar mais burocracia</p> <p>Formulador de política é inflexível e não envolve necessariamente o público</p> <p>Falta de relações eficazes envolvendo todas as partes interessadas</p>	<p>Rever a prática científica e o financiamento da pesquisa por meio do enfoque de PRI</p> <p>Necessidade de mais PRI relacionada com treinamento e comunicação científica</p> <p>Necessidade de mais colaboração</p>	<p>Melhoria da eficácia da colaboração das partes interessadas</p>

## *Questões para diálogos futuros<sup>6</sup>*

As novas gerações, de trabalhadores que lidam com nanomateriais, bem como o público em geral, necessitam ser informadas sobre nanotecnologia. Isso é inicialmente uma questão de educação! Caso contrário, haverá um diálogo tendencioso e prejudicado.

Espera-se que a questão internacional sobre governança dos riscos em nanomateriais permaneça na agenda de políticas para a próxima década, ou talvez ainda mais, considerando-se dois aspectos ainda permanecem não resolvidos: concordância em definições e terminologias e a compilação de boa qualidade nas pesquisas e nos resultados conduzidos em nanotecnologia para propostas de regulações. Muitas organizações internacionais coordenadas pela Saicm, bem como os acordos multilaterais e bilaterais entre os países, oferecem plataformas para que essas decisões sejam tomadas<sup>7</sup>.

Outro aspecto que necessita de mais discussões, em nível global são as nanoinovações: a introdução no mercado de produtos que utilizem a nanotecnologia. Há um mercado potencial que ainda necessita ser explorado. Além disso, uma questão essencial é explorar nos diálogos o risco percebido e os benefícios de produtos fabricados em escala nano e o que necessita ser feito para aprimorar a tecnologia às necessidades dos usuários e considerar suas opiniões e principais preocupações. Esta questão não deve ser ofuscada, mas convém focarmos nas aplicações específicas, como nanomedicina (com médicos e pacientes etc.), nanoeletrônicos (destacando privacidade e vigilância e questões de segurança), nanoalimentos (com associações dos consumidores, indústria alimentícia, fazendeiros etc.), nanocosméticos (possivelmente combinado com nanomedicina) etc.

Uma terceira questão é focar a nanotecnologia nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODG<sup>8</sup>) para 2030, adotadas pela

---

<sup>6</sup> Esta é uma adaptação da seção 3.4 do documento D2.1 Pesquisa Responsável e Inovativa em nanotecnologia, do projeto NANO2ALL ([www.nano2all.eu](http://www.nano2all.eu))

<sup>7</sup> [www.saicm.org](http://www.saicm.org)

<sup>8</sup> Do inglês Sustainable Development Goals (SDG).

Assembleia Geral da ONU em setembro de 2015<sup>9</sup>. Contrariamente às políticas previamente orientadas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (2000-2015), elas requerem uma contribuição mais explícita em ciência e tecnologia. A nanotecnologia, como uma área interdisciplinar de pesquisa, está bem situada para atender os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Para tanto, deve incluir uma padronização no currículo em educação em nanotecnologia, construção de pesquisa local e capacidade de governança em nanotecnologia em países subdesenvolvidos e angariar recursos de investidores nacionais e internacionais para uma estratégia comum em nanotecnologia. As sugestões de prioridades foram incluídas nos mapas de aplicação em nanotecnologia para saúde, água e energia, desenvolvidos no contexto do projeto Europeu NMP-DeLA<sup>10</sup>. Inclui ainda soluções baseadas em nanotecnologia para limpeza de efluente de água de mineração, energia solar e outros tipos de energia sustentável e capacidade local para lidar com nanotecnologia para doenças e câncer tropical. Outra prioridade é a construção de pesquisa em nanotecnologia em parceria com a European Nanosafety Cluster<sup>11</sup>.

### ***Há outras questões que não foram identificadas anteriormente?***

O desenvolvimento de indicadores de progresso para pesquisa responsável e inovadora é relativamente novo na agenda. Um grupo de especialistas da EC (EUROPEAN COMMISSION, 2015) fez algumas sugestões para oito setores/grupos de indicadores para a promoção e o monitoramento em RRI: governança; engajamento público; igualdade de gênero; educação em ciência; acesso aberto/ciência aberta; ética; sustentabilidade; e justiça social/inclusão. Além disso, a NMP-DeLA elaborou um conjunto para curto e médio prazos de indicadores de monitoramento para os impactos em atividades relacionadas com nanoaplicação nas áreas sociais da saúde, energia e água. Esses indicadores contemplam as áreas da ELSA, RRI e engajamento público, na-

---

<sup>9</sup> <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals>

<sup>10</sup> [http://cordis.europa.eu/project/rcn/108951\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/108951_en.html)

<sup>11</sup> [www.nanosafetycluster.eu](http://www.nanosafetycluster.eu)



nopesquisa, nanossegrança e avaliação de risco, desenvolvimento de habilidades, políticas e aplicação de fundos e indústria (MALSCHET et al., 2015).

Quais conflitos ou diferenças em valores mínimos podem ser identificados em comparação com a Europa e outras partes do mundo? Desde que se iniciou a discussão entre o público e os investidores no que se refere à nanotecnologia, em meados de 2003, os conflitos de interesses entre o que se deve e o que não se deve fazer têm sido uma questão de ordem. Isso se reflete no código de conduta da EC para a nanotecnologia, as atividades da Unitar<sup>12</sup> e o investimento dos governos locais em nanotecnologia para o desenvolvimento. Até o momento, isso não resultou em uma solução entre países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Relacionado com isso, existem diferentes interpretações do que se constitui o desenvolvimento sustentável em nanotecnologia.

Em um nível mais elementar, as diferenças entre a abordagem proativa nos Estados Unidos e a Europa têm sido direcionadas no início do diálogo em nanotecnologia. Em um nível global, os conflitos de valores entre culturas são visíveis e impõem barreiras para alcançar um acordo em pesquisa responsável e inovação incluindo a nanotecnologia. Uma recente comparação entre Europa, China e Índia, publicada em 2015 (LADIKASET et. al., 2015), está relacionada com as diferentes perspectivas entre pensadores liberais e comunitários (MALSCH, 2015).

---

<sup>12</sup> [www.unitar.org](http://www.unitar.org)

## *Conclusão*

A ética do “faça você mesmo” em nanotecnologia apresenta três prioridades: compromisso, comportamento individual proativo e responsabilidade coletiva para potenciais consequências futuras. Isso sugere treinamento de cientistas, industrialistas e outros investidores na legislação atual, bem como códigos de conduta em gestão de nanotecnologia, destacando-se oportunidades e consequências para futuras tecnologias e envolvimento do diálogo com todos os investidores envolvidos. O projeto Nano2all oferece uma plataforma para um diálogo futuro, e isso resultará em melhores contribuições para o desenvolvimento de agendas de inovação responsável em nível europeu.

## *Agradecimentos*

O projeto Nano2all recebeu fundos da União do Horizonte Europeu 2020 – Programa de Pesquisa e Inovação, sob concessão do acordo número 685931. Esta publicação reflete somente o ponto de vista dos autores. A Comissão Europeia não se responsabiliza pelo uso de informações aqui contidas.



## *Referências*

COLLINGRIDGE, D. **The social control of technology**. London: Frances Pinter, 1980.

EUROPEAN COMMISSION. Commission recommendation on a code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research & Council conclusions on Responsible nanosciences and nanotechnologies research. Disponível em: [https://dscf.units.it/sites/dscf.units.it/files/nanocode-apr09\\_en.pdf](https://dscf.units.it/sites/dscf.units.it/files/nanocode-apr09_en.pdf). Acesso em: 27 maio 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Indicators for promoting and monitoring responsible research and innovation. Report from the Expert group on policy indicators for responsible research and innovation**. Luxembourg: European Union, 2015.

JONAS, H. **Das prinzip verantwortung**: versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Frankfurt: Insel Verlag, 1979.

LADIKAS, M.; CHATURVEDI, S.; ZHAO, Y.; STEMERDING, D. (Eds.). **Science and technology governance and ethics: a global perspective from Europe, India and China**. Springer International Publishing, 2015. Disponível: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-14693-5>. Acesso em: 27 maio 2018.

MALSCH, I. **Ethics and nanotechnology: responsible development of nanotechnology at global level in the 21st century**. 2011. 363 f. (PhD) Thesis - Radboud University Nijmegen, 2011. Disponível em: <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/91234/91234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 maio 2018.

MALSCH, I.; LINDORFER, M.; LIMA TOIVANEN, M. **Deliverable D2.4: final roadmap and recommendations for nano-health, nano-water & nano-energy deployment for societal challenges in Latin American Countries**. NMP-DeLA project, 2015.

MALSCH, I. Communitarian and subsidiarity perspectives on responsible innovation at a global level. **Nanoethics**, v. 9, n. 2, p. 137- 150, 2015. Disponível em: <https://www.proquest.com/docview/1703894402>. Acesso em: 27 maio 2018.

SCHOMBERG, R. V. **From the ethics of technology towards an ethics of knowledge policy and knowledge assessment**. Brussels: European Commission Services, 2007. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/220414636\\_From\\_the\\_ethics\\_of\\_technology\\_towards\\_an\\_ethics\\_of\\_knowledge\\_policy\\_implications\\_for\\_robotics](https://www.researchgate.net/publication/220414636_From_the_ethics_of_technology_towards_an_ethics_of_knowledge_policy_implications_for_robotics). Acesso em: 27 maio 2018.

SWIERSTRA, T.; RIP, A. Nano-ethics as NEST-ethics: patterns of moral argumentation about new and emerging science and technology. **NanoEthics**, v. 1, n. 1, p. 3-20, April 2007.

Capítulo IX

**NANOTECNOLOGIAS  
E VIGILÂNCIA DA SAÚDE  
DOS TRABALHADORES**



## *Apresentação*

*William Weissmann*

Nanotecnologias e nanomateriais podem trazer vantagens econômicas e, mesmo, à saúde. Cabe, porém, que se questione a existência de riscos advindos com a escala nano na seara produtiva de grande monta. De fato, novos subcampos desenvolveram-se para responder a esta questão, como a própria nanotoxicologia. E, se há potencial de risco e este, como de praxe, pode ser maior a quem lida diretamente com o processo de produção de nanomateriais, são necessárias atividades de vigilância em saúde voltadas a este novo campo, objetivo, resumido no capítulo Nanotecnologias e vigilância à saúde dos trabalhadores.





# ***Nanomateriais: saúde e segurança dos trabalhadores***

*Maria de Fátima Torres Faria Viegas; William Waissmann*

## ***Riscos potenciais de nanopartículas e nanomateriais***

Se em nanoescala os materiais podem apresentar propriedades diferentes, cabe pensar que suas toxicidades podem variar e devem ser estudadas e compreendidas. Embora os estudos toxicológicos já tenham elucidado lacunas do conhecimento acerca dos efeitos de nanomateriais e nanopartículas (a partir de agora, ambos denominados “NP”), a comparação de resultados, ainda, é limitada. Efeitos sobre a homeostase celular consequentes a exposições prolongadas são menos evidentes e demandam maior conhecimento (SOENEN et al.; 2011).

## ***Absorção e Distribuição***

Pela via respiratória, as NP podem ser absorvidas por células de proteção, aglomerar-se na superfície, ligar-se a complexos proteicos etc. Se insolúveis ou pouco solúveis, serão destruídas ou eliminadas. Se atingirem o espaço entre as pleuras, podem ser drenadas pelos vasos linfáticos, alcançar a circulação e distribuir-se a vários órgãos. Podem alcançar o sangue pelos alvéolos do pulmão e daí a todo o organismo (DONALDSON et al., 2010). As NP podem atravessar a mucosa nasal, penetrar nos nervos olfatórios e atingir diretamente o sistema nervoso central, sem passar pela circulação sanguínea (ELDER et al., 2006; SHIMADA et al., 2006; OBERDÖRSTER et al., 2004).

As NP podem ser prontamente absorvidas pelo trato gastrointestinal (GI). As partículas maiores (>30nm) tendem a ficar no GI. As menores serão distribuídas a órgãos como rins, fígado, pulmões etc. (BALOGH et al., 2007; PIERUCCI et al., 2006; HILLYER & ALBRECHT, 2001). Em geral, na pele íntegra, é necessário que as partículas sejam muito pequenas para haver penetração (5-7nm). Fullerenos menores do

que 3,5nm, pontos quânticos e outras estruturas com tais dimensões têm potencial de atravessar a pele íntegra (BAROLI, 2010; MONTEIRO-RIVIERI et al., 2007). A necessidade de se introduzir medicamentos e outros produtos por meio da pele levou ao desenvolvimento de lipossomos especializados (BAROLI, 2010). Alguns estudos mostram que nanopartículas de TiO<sub>2</sub> e de zinco podem atravessar apenas algumas camadas do estrato córneo (três a cinco camadas de corneócitos) (GONTIER et al., 2008), enquanto outras, como lipossomas, em especial quando em meio lipídico, podem atravessá-la.

### ***Efeitos celulares***

A passagem pela membrana celular das nanopartículas depende de algumas características, como área superficial, cargas, tamanho e presença de contaminantes, entre outros compostos acoplados que levam à produção de estresse oxidativo, ao aumento da produção de radicais livres e às suas consequências. Pode haver lesões no DNA e nas mitocôndrias, além de formação de adutos. A produção de citocinas e quimioquinas poderá aumentar, havendo apoptose e necrose. Há potencial genotoxicidade e mutagenicidade. Além da toxicidade dos nanocompostos, convém ser ressaltada a capacidade de muitas NP carregarem contaminantes do ambiente, o que faz com que a toxicidade possa dever-se, também, aos contaminantes que carrega (ELSAESSER & HOWARD, 2012; SOENEN et al., 2011; XIA, LI & NEL, 2009; LI et al., 2009; OBERDÖRSTER, STONE & DONALDSON, 2007; NEL et al., 2006; KAGAN et al., 2006).

### ***Efeitos orgânicos selecionados pulmonares***

A indução de processo inflamatório pulmonar, granulomas e mesmo mesoteliomas por nanotubos de carbono foi investigada por vários autores. Têm características de fibras que podem causar quadro inflamatório e tóxico-clínico similar ao do asbesto. As NP respiráveis não fibrosas podem ter toxicidade dependente dos componentes, como é o caso de íons de cromo, berílio e níquel. Neste caso, a massa da partícula, aliada à maior deposição pulmonar, atribuída ao diminuto tamanho da partícula, é importante fator de toxicidade, além de particularidades

da superfície, como grande área, composição heterogênea e reatividade (DONALDSON et al., 2010; SAVOLAINEN et al., 2010; WARHEIT, REED & SAYES, 2009; SAGER & CASTRANOVA, 2009, SHVEDOVA et al., 2009, 2008, 2005; SAGER, KOMMINENI & CASTRANOVA, 2008).

### ***Efeitos cardiovasculares***

A poluição atmosférica (e o material particulado associado) pode causar variação da frequência cardíaca, da pressão sanguínea, do tônus e da reatividade vascular, da coagulabilidade sanguínea, maior severidade de lesões ateroscleróticas e maior risco de quadros agudos cardiovasculares. As NP parecem estar entre os fatores principais (ARAÚJO et al., 2008; BACCARELLI, ZANOBETTI & MARTINELLI., 2007; HOFFMANN et al., 2007; MUTLU et al., 2007; O'NEILL et al., 2005)

### ***Efeitos digestivos, neurológicos e endócrinos***

Acredita-se que, após a absorção intestinal, as NP, principalmente as metálicas, alcancem neurônios e determinem a liberação de neurotransmissores, que poderiam estar envolvidos na síndrome do cólon irritável. A presença em células intestinais poderia ocorrer na doença de Crohn e na retocolite ulcerativa (LOMER, THOMPSON & POWELL, 2002). Observa-se efeito hepatotóxico secundário à exposição animal a dendrímeros e nanoóxidos metálicos, entre outros, com elevação enzimática, formação de granulomas e carcinoma (DUTTA et al., 2008; GATTI & MONTANARI, 2008).

Win-Shwe & Fujimaki (2011) propõe um modelo em que, uma vez no SNC, as NP podem induzir inflamação, apoptose e estresse oxidativo. Este processo seria fruto do balanço entre liberação de mediadores tóxicos, como o óxido nítrico, e citoquinas anti-inflamatórias e neutrofinas. O resultado poderia levar a alterações neurodegenerativas. As NP metálicas, os fulerenos e os pontos quânticos podem atravessar a BHE. Talvez se associem a patologias degenerativas, como doença de Parkinson e de Alzheimer, em situações de exposição a níveis elevados de poluição ambiental, DEP e NP (BONDY, 2011).

Pode ocorrer interferência na produção de estrogênio e progesterona quando as NP de óxido de cádmio, fosfato de cálcio e ouro penetram em organelas intracelulares envolvidas na esteroidogênese ovariana e interferem no desenvolvimento e na maturação folicular *in vivo* e *in vitro*. Neste processo, pode haver apoptose de células da granulosa humana (LIU et al, 2010) levando à desregulação da produção de estrogênios e progesterona. Alteração na homeostase tireoidiana foi vista por Hinthet et al. (2010), em anfíbios, com a observação de que pontos quânticos e nanopartículas de prata, na presença ou ausência de tri-iodotironina, alteraram a expressão gênica do hormônio tireoidiano.

### ***Controle de ambientes de trabalho***

Ainda são poucos os conhecimentos da população geral e de profissionais da área no que diz respeito à regulação sanitária e regulatória, especialmente quando relacionadas com o risco de nanotecnologias (WAISSMANN et al., 2012; BALAS et al., 2010). As medidas de engenharia, controle local e processos sustentam-se em contenção de ambientes, isolamento de processos, uso de capelas e sistemas de filtração, exaustão e pressão negativas adequadas, realização de processos com técnicas estabelecidas, guarda de compostos e dispensação correta de resíduos. Ressaltam-se as recomendações do National Institute for Occupational Safety and Health (Niosh) e do Instituto de Segurança e Saúde Ocupacional do Seguro Social de Acidentes Alemão (SCHULTE et al., 2010; METHNER et al., 2010a,b; IFA, 2009). Têm sido aplicados sistemas de controle de bandas, o que possibilita diversas adaptações, pois estas prescindem de técnicas sofisticadas de mensuração, mas podem conter limitações relevantes (ANSES, 2008).

Os controles médico-sanitários específicos para os expostos são iniciais. Há poucos estudos de coorte e não definitivos. A rigor, há maior preocupação na monitorização dos sistemas cardiovascular e respiratório, assim como da produção endógena de intermediários inflamatórios (SCHULTE et al., 2010).

## *Considerações finais*

Vivemos em um mundo pleno de produção nanotecnológica. Atentar a seus riscos potenciais e respeitar a posição de trabalhadores, consumidores, produtores, pesquisadores, reguladores e legisladores é fundamental. Se a participação decisória de todos é básica, demanda, por sua vez, certa compreensão de riscos invisíveis. É imperioso o provimento de instrumentos básicos de conhecimento e engajamento para sua devida compreensão e participação livre e consciente. É necessário amplo acesso à educação de alta qualidade, de modo que a população votante ou participante tenha o direito à compreensão sobre o tema em debate. Processos decisórios inclusivos demandarão cada vez mais populações devidamente informadas que possam, de fato, decidir.



## *Referências*

- ANSES. **Development of a specific control banding tool for nanomaterials**. French agency for food, environmental, and occupational health & safety, 2008. Disponível em: <https://www.anses.fr/fr/search/site/Development%20of%20a%20specific%20control%20banding%20tool%20for%20nanomaterials?iso1=fr&iso2=en>. Acesso em: 27 maio 2018.
- BALAS, F.; ARRUELO, M.; SANTAMARÍA, J. Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. **Nature Nanotechnology**, v. 5, p. 93-96, 2010.
- BALOGH, L.; NIGAVEKAR, S. S.; NAIR, B. M. *et al.* Significant effect of size on the in vivo biodistribution of gold composite nanodevices in mouse tumor models. **Nanomedicine**, v. 3, n. 4, p. 281-296, 2007.
- BAROLI, B. Penetration of nanoparticles and nanomaterials in the skin: fiction or reality? **Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 99, n. 1, p. 21-50, 2010.
- BONDY, S. C. Nanoparticles and colloids as contributing factors in neurodegenerative disease. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 8, p. 2200-2211, 2011.
- DONALDSON, K.; MURPHY, F. A.; DUFFIN, R.; POLAND, C. A. Asbestos, carbon nanotubes and the pleural mesothelium: a review of the hypothesis regarding the role of long fibre retention in the parietal pleura, inflammation and mesothelioma. **Particle and Fiber Toxicology**, v. 7, n. 5, 2010. Disponível em: <https://particleandfibretoxicology.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/1743-8977-7-5.pdf>. Acesso em: 16 out 2012.
- DUTTA, T.; GARG, M.; DUBEY, V. *et al.* Toxicological investigation of surface engineered fifth generation poly (propyleneimine) dendrimers in vivo. **Nanotoxicology**, v. 2, n. 2, p. 1-9, 2008.
- ELDER, A.; GELEIN, R.; SILVA, V. *et al.* Translocation of inhaled ultrafine manganese oxide particles to the central nervous system. **Environmental Health Perspect.**, v. 114, n. 8, p. 1172-1178, 2006.
- ELSAESSER, A.; HOWARD, C. V. Toxicology of nanoparticles. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 64, n. 2, p. 129-137, 2012.
- GATTI, A. M.; MONTANARI, S. **Nanopathology**: the health impact of nanoparticles. Singapore: Pan Stanford Publishing Pte, 2008.



GONTIER, E.; YNSA, M-D.; BÍRÓ, T. *et al.* Is there penetration of titania nanoparticles in sunscreens through skin? A comparative electron and ion microscopy study. **Nanotoxicology**, v. 2, n. 4, p. 218-231, 2008.

HILLYER, J. F.; ALBRECHT, R. M. Gastrointestinal persorption and tissue distribution of differently sized colloidal gold nanoparticles. **Journal of Pharmaceutical Science**, v. 90, n. 12, p. 1927-1936, 2001.

HINTHER, A.; VAWDA, S.; SKIRROW, R. C. *et al.* Nanometals induce stress and alter thyroid hormone action in amphibia at or below North American water quality guidelines. **Environmental Science & Technology**, v. 44, n. 21, p. 8314-8321, 2010.

IFA. **Criteria for assessment of the effectiveness of protective measures**. 2009. Disponível em: <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/nanopartikel-am-arbeitsplatz/beurteilung-von-schutzmassnahmen/index-2.jsp>. Acesso em: 15 out 2012.

KAGAN, V. E.; TYURINA, Y.Y.; TYURIN, V. A. *et al.* Direct and indirect effects of single walled carbon nanotubes on RAW 264.7 macrophages: role of iron. **Toxicology Letters**, v. 165, p. 88-100, 2006.

LI, K. G.; CHEN, J.T.; BAI, S. S. *et al.* Intracellular oxidative stress and cadmium ions release induce cytotoxicity of unmodified cadmium sulfide quantum dots. **Toxicology in Vitro**, v. 23, n. 6, p. 1007-1013, 2009.

LIU, X.; QIN, D.; CUI, Y. *et al.* The effect of calcium phosphate nanoparticles on hormone production and apoptosis in human granulosa cells. **Reproductive Biology and Endocrinology**, v. 8, p. 32-39, 2010.

LOMER, M. C. E.; THOMPSON, R. P. H.; POWELL, J. J. Fine and ultrafine particles of the diet: influence on the mucosal immune response and association with Crohn's disease. **The Proceedings of the Nutrition Society**, v. 61, n. 1, p. 123-130, 2002.

METHNER, M.; HODSON, L.; DAMES, A.; GERACI, C. Nanoparticle emission assessment technique (NEAT) for the identification and measurement of potential inhalation exposure to engineered nanomaterials – Part: B: Results from 12 field studies. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 7, n. 3, p. 163-176, 2010.

METHNER, M.; HODSON, L.; GERACI, C. Nanoparticle emission assessment technique (NEAT) for the identification and measurement of potential inhalation exposure to engineered nanomaterials – Part: A. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 7, n. 3, p. 127-132, 2010.

MONTEIRO-RIVIERE, N. A.; INMAN, A. O.; RYMAN-RASMUSSEN, J.P. "Dermal effects of nanomaterials". *In*: NANCI, A.; MONTEIRO-RIVIERE, C.; LANG, T. (Ed.). **Nantotoxicology**: characterization, dosing, and health effects. New York: Informa Healthcare, 2007. cap. 19.

NEL, A.; XIA, T.; MÄDLER, L.; LI, N. Toxic potential of materials at the nanonovel. **Science**, v. 311, n. 5761, p. 622-627, 2006.

OBERDÖRSTER, G.; SHARP, Z.; ATUDOREI, V. *et al.* Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. **Inhal. Toxicol.**, v. 16, n. 6-7, p. 437-445, 2004.

OBERDÖRSTER, G.; STONE, V.; DONALDSON, K. Toxicology of nanoparticles: a historical perspective. **Nanotoxicology**, v. 1, n. 1, p. 2-25, 2007.

PIERUCCI, A. P.; ANDRADE, L. R.; BAPTISTA, E. B. *et al.* New microencapsulation system for ascorbic acid using pea protein concentrate as coat protector. **Journal of Microencapsulation**, v. 23, n. 6, p. 654-662, 2006.

SAGER, T. M.; CASTRANOVA, V. Surface area of particle administered versus mass in determining the pulmonary toxicity of ultrafine and fine carbon black: comparison to ultrafine titanium dioxide. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 6, p. 15, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19413904/>. Acesso em: 12 out. 2012.

SAGER, T. M.; KOMMINENI, C.; CASTRANOVA, V. Pulmonary response to intratracheal instillation of ultrafine versus fine titanium dioxide: role of particle surface area. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 5, n. 17, p. 1-15, 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2633346/pdf/1743-8977-5-17.pdf>. Acesso em: 13 out. 2012.

SAVOLAINEN, K.; ALENIUSA, H.; NORPPA, A. H. *et al.* Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies - a review. **Toxicology**, v. 269, n. 2-3, p. 92-104, 2010.

SCHULTE, P. A.; MURASHOV, V.; ZUMWALDE, R. *et al.* Occupational exposure limits for nanomaterials: state of the art. **Journal Nanoparticle of Research**, v. 12, p. 1971-1987, 2010.

SHIMADA, A.; KAWAMURA, N.; OKAJIMA, M. *et al.* Translocation pathway of the intratracheally instilled ultrafine particles from the lung into the blood circulation in the mouse. **Toxicol. Pathol.**, v. 34, n. 7, p. 949-957, 2006.

- SHVEDOVA, A. A.; KISIN, E. R.; PORTER, D. *et al.* Mechanisms of pulmonary toxicity and medical applications of carbon nanotubes: two faces of Janus? **Pharmacology & Therapeutics**, v. 12, n. 2, p. 192- 204, 2009.
- SHVEDOVA, A. A.; KISIN, E. R.; MERCER, R. *et al.* Unusual inflammatory and fibrogenic pulmonary responses to single-walled carbon nanotubes in mice. **American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology**, v. 289, n. 533-5, p. L698-L708, 2005.
- SHVEDOVA, A. A.; KISIN, E.; MURRAY, A. R. *et al.* Inhalation vs. aspiration of single-walled carbon nanotubes in C57BL/6 mice: inflammation, fibrosis, oxidative stress, and mutagenesis. **American Journal of Physiology. Lung Cellular and Molecular Physiology**, v. 295, n. 4, p. L552-L565, 2008.
- SOENEN, J. S.; RIVERA-GIL, P.; MONTENEGRO, J-M. *et al.* Celular toxicity of inorganic nanoparticles: common aspects and guidelines for improved nanotoxicity evaluation. **Nano Today**, v. 6, n. 5, p. 446-465, 2011.
- WAISSMANN, W.; BARROS, R.; MOURA, M. *et al.* A Delphi study with Brazilian stakeholders about nanotechnology, nanomaterials, risk, and regulation. *In: ENCONTRO DO INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS DE NANOMATERIAIS DE CARBONO*, 4., 2012. Goiânia. **Pôster** [...]. Goiânia, 2012.
- WARHEIT, D. B.; REED, K. L.; SAYES, C. M. A role for nanoparticle surface reactivity in facilitating pulmonary toxicity and development of a base set of hazard assays as a component of nanoparticle risk management. **Inhal. Toxicol.**, v. 21, p. 61-67, 2009. Supl. 1.
- WIN-SHWE, T. T.; FUJIMAKI, H. Nanoparticles and neurotoxicity. **Int. J. Mol. Sci.**, v.12, p. 6267-6280, 2011.
- XIA, T.; LI, N.; NEL, A. E. Potential health impact of nanoparticles. **Annual Review of Public Health**, v. 30, p. 137-50, 2009.



Capítulo X

**NANOTECNOLOGIAS E  
COMUNICAÇÃO CIENTÍFICA**



## *Apresentação*

*Alexandra Rinaldi*

Este capítulo tem a finalidade de mostrar a dificuldade em comunicar riscos, em especial a nanotecnologia aos trabalhadores e à sociedade. Para discorrer sobre os aspectos da comunicação e os entraves existentes, tanto do ponto de vista da comunicação científica quanto da comunicação de riscos, nada mais apropriado que a participação de duas jornalistas para abordar o assunto. De um lado, sob a ótica da comunicação científica, a jornalista da Fiocruz traz à luz dos debates a proposta de uma comunicação mais ampla, mais democrática e heterogênea e que não seja restrita somente aos tomadores de decisão sobre a política de ciência e tecnologia no país.

O artigo destaca, ainda, a ênfase dada à divulgação científica, especialmente a voltada para a nanotecnologia com a promessa de melhoria da qualidade de vida, mas pouco debatida entre trabalhadores, movimentos sociais e sociedade em geral, ou seja, atores que não fazem parte do mundo acadêmico.

De outro, sob a ótica da comunicação de riscos, a jornalista da Fundacentro revela a ausência da comunicação de riscos aos trabalhadores, a partir de uma análise feita sob a ótica da gestão dos riscos. Discute, ainda, um ponto importante de inclusão por parte da mídia de assuntos que estejam associados a riscos tecnológicos e formas de prevenção e como comunicar esses riscos.

Por fim, encerramos esta apresentação com uma mensagem de Mário Quintana<sup>13</sup> que nos remete a refletir sobre o verdadeiro papel da comunicação, mas especialmente aquela que envolve vidas humanas nos diversos segmentos do trabalho: “A gente pensa em uma coisa, acaba escrevendo outra, e o leitor entende uma terceira e, enquanto se passa tudo isso, a coisa propriamente dita começa a desconfiar que não foi propriamente dita”.

---

<sup>13</sup> QUINTANA, M. Caderno H. Porto Alegre: Globo, 1973



## *Nanotecnologias e comunicação científica*

*Alexandra Rinaldi*

A nanotecnologia veio para ficar. O grande ponto de discussão é como torná-la mais aceitável à percepção pública. A comunicação, como parte de um processo democrático, é um dos pilares mais importantes para a compreensão na introdução das novas tecnologias. Contudo, há que se observar que, diante de um cenário de incertezas científicas, a nanotecnologia pode ser considerada a vilã e comprometer todo um trabalho de conhecimento e de reconhecimento de riscos por parte da população e dos trabalhadores, tendo como consequência a falha no processo de comunicação. É importante destacar que, no processo de comunicação, especificamente para a científica e a de risco, embora se entrelacem conceitualmente nas questões afetas à comunicação propriamente dita, são diferentes, portanto, merecem olhares também diferentes. Falar de comunicação científica e comunicação de risco, em um país que pouco faz chegar, ao público leigo e aos trabalhadores, uma comunicação efetiva, ou seja, aquela capaz de informar, educar, alertar e conscientizar os mais diversos públicos, acaba por ser uma tarefa hercúlea.

Recentemente, vimos grandes acidentes industriais ocorrerem em Santos, cidade que abriga o maior porto do hemisfério sul afetando trabalhadores, sociedade e meio ambiente. Notícias sobre trabalhadores acidentados não faltaram. Também não faltaram notícias sobre os danos causados ao meio ambiente. Decorridos alguns dias, pouco se sabia sobre os fatos que levaram aos acidentes. Nesse sentido, a comunicação científica e a comunicação de risco não se mostraram efetivas. Muito pelo contrário: despertaram nas autoridades, na população afetada e nos trabalhadores a sensação de que algo caminha para o total desconhecimento das causas e, especialmente, dos efeitos devastadores.

Ao abordar a nanotecnologia, não nos distanciamos desta grande lacuna de falta de informação. O que sabemos é que a nanotecnologia veio para ficar. De tecidos inteligentes a drones que utilizam escala nanométrica, o tema tem sido abordado e discutido em sucessivas pesquisas acadêmicas e órgãos governamentais, os quais apresentam o



potencial nível de toxicidade nos nanomateriais. Em 2004, o relatório da Academia Real de Engenharia revelou que os nanotubos merecem atenção especial no que se refere aos níveis toxicológicos e ao potencial efeito à saúde. Mais recentemente, o governo do Reino Unido elaborou um relatório no qual coloca que não há “evidência suficiente para continuar com pesquisas robustas no que se referem aos riscos dos vários nanomateriais existentes” (UK GOVERNMENT, 2010).

Dessa maneira, podemos inferir que tudo o que vem sendo colocado até o momento nos revela uma grande incerteza diante das pesquisas conduzidas no segmento da nanotecnologia. Mas e a comunicação? Onde se insere nesse contexto?

Consideremos que, dentro de uma organização, há a tão conhecida gestão de riscos. Esta, por sua vez, tem níveis e atribuições diferenciados, como a avaliação de risco, a análise de risco e o monitoramento de risco, mas aqui neste capítulo iremos tratar somente da comunicação e da percepção de risco.

Michel Llory e René Montmayeul, engenheiros e pesquisadores de gestão de qualidade em pesquisas industriais, revelaram, na obra *O acidente e a organização* (2010), os grandes acidentes industriais ocorridos no mundo e os fatores humanos e organizacionais que levaram a esses acidentes, ou à ausência de segurança industrial. Da análise que ambos se propõem a fazer sobre a própria análise organizacional, modelos e paradigmas, nos parece muito apropriado aqui destacar “a importância da palavra dos trabalhadores como fator determinante na abordagem organizacional”. Logo, informar os trabalhadores sobre os riscos existentes é direito assegurado nas normas regulamentadoras e em tantos outros instrumentos de gestão. Um trabalho que vem sendo realizado pela Fundacentro de inclusão e informação é a elaboração de cartilhas educativas e informativas sobre nanotecnologia, em uma linguagem didática e apropriada aos trabalhadores que desconhecem totalmente os riscos presentes na manipulação de materiais nanotecnológicos.

Nos Estados Unidos, o *the right to know*, ou direito de saber, surge em 1986 no processo da comunicação de riscos como um instrumento que obriga o poder público e as empresas a notificar a população residente sobre instalações industriais e permite que os cidadãos passem a ter informações voltadas aos riscos industriais (CHESS, 1997). Em 2002, a OIT divulga que, independentemente de solicitação, devem

ser divulgadas, entre a população passível de ser afetada por acidente maior, informações sobre medidas de segurança e comportamento apropriado a serem adotadas em caso de acidente maior. Além disso, tais informações atualizadas devem ser retransmitidas em intervalos apropriados (OIT, 2002).

No Brasil, temos acompanhado a participação social na promoção de um diálogo transparente entre governo e sociedade por meio de audiências públicas ou consultas públicas, mas ainda é incipiente diante de tantos riscos existentes nas mais diversas atividades. A percepção de risco, outro fator importante no processo de comunicação de riscos, merece grande destaque para se falar de nanotecnologia. A percepção de risco é um processo pelo qual determina os valores e julgamentos individuais. Em outras palavras, a minha percepção de risco difere da do leitor e assim sucessivamente. Os valores são aqueles que agregam questões emocionais, religiosas, históricas e outras. Então, é como, em um ambiente organizacional, alinhar as diferentes percepções sobre o risco entre os acionistas, os engenheiros, a diretoria e os trabalhadores. De acordo com Paul Slovic, pesquisador americano, a percepção pública quanto aos riscos pode variar no que ele chama de risco aceitável ou não aceitável. Outro autor (RENN, 2006) destacou que a percepção de risco pode ser influenciada por fatores de gênero.

Outra pesquisa que valida Slovic sobre o aceitável ou não aceitável foi um estudo conduzido pela *European Agency for Safety and Health at Work* (2012) sobre a percepção de risco na área de nanotecnologia. O estudo colocou que, para os trabalhadores, a percepção de riscos no uso de nanomateriais depende da descrição do material usado quando comparado com outros usados no passado, como a morfologia, o número de partículas etc.

A comunicação científica, ou comunicação de risco, pressupõe o envolvimento de profissionais da área de comunicação. Nesse sentido, a imprensa brasileira ainda se mostra muito tímida para falar de prevenção, de riscos, de tomada de decisões, de acompanhamentos durante e pós-acidentes industriais. As matérias sobre nanotecnologia ganham espaço nas mais variadas mídias: jornais, TVs, rádios, blogs e revistas segmentadas. No entanto, poucas ainda são tratadas com o viés do direito de saber, especialmente quando se refere aos acidentes ocorridos ou aos riscos presentes nas escalas nanométricas. De um lado, os

cientistas justificam a divulgação de matérias por parte dos jornalistas de forma errônea, não retratando aquilo que foi dito. De outro, os jornalistas tendem a simplificar a linguagem científica no cumprimento do papel de informar. Como bem destacou Bennett (1997), a comunicação de risco não irá solucionar conflitos, mas ajudar a população em suas escolhas e a formação de opinião.

## *Referências*

BENNETT, P. Improving risk communication. 2. ed. Washington: National Academis Press, 1997.

CHESS, C. **Risk communication as an organizational response**: three cases of chemical manufacturers. 1997. 352 f. Tese (Doutorado em saúde ambiental) – Faculdade de Ciências Ambientais da Universidade do Estado de New York, Syracuse, 1997.

EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK. **Euro-pean risk Observatory**, 2012. Literature Review.

LLORY, M.; MONTMAYEUL, R. **O acidente e a organização**. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2014.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO. **Convenção OIT 174, Recomendação 181**: prevenção de acidentes industriais maiores. Tradução de Abiquim/Fundacentro. São Paulo: Fundacentro, 2002.

RENN, O. **Risk governance**: towards an integrative approach. Geneva: International Risk Governance Council, 2006.

SLOVIC, P. “Perception of risk: reflections on the psychometric paradigm”. *In*: Krimsky, S.; Golding, D. (Eds.). **Social theories of risk**. Westport: Praeger, 1992. p. 117-152.

UK GOVERNMENT. HOUSE OF LORDS. Nanotechnologies and food. London: The Stationery Office Limited, 2010. 1st Report of Session 2009–10 Nanotechnologies and Food. V. I – Report. Disponível em: <https://publications.parliament.uk/pa/ld200910/ldselect/ldsctech/22/22i.pdf>. Acesso: em 15 abr. 2017.

UK GOVERNMENT. ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING. **Nanoscience and nanotechnologies**: opportunities and uncertainties. London: The Royal Society, 2004. Disponível em: [https://royalsociety.org/-/media/Royal\\_Society\\_Content/policy/publications/2004/9693.pdf](https://royalsociety.org/-/media/Royal_Society_Content/policy/publications/2004/9693.pdf). Acesso em: 27 mar 2017.



## *Comunicação e nanotecnologia*

*Maria Fernanda Marques Fernandes*

Precisamos falar sobre nanotecnologia. Precisamos igualmente ouvir sobre nanotecnologia. Mais: precisamos garantir que, desse diálogo, participem diferentes vozes e não só aquelas de sempre, que historicamente têm decidido os rumos da política de ciência e tecnologia no Brasil. E, finalmente, precisamos que esse diálogo resulte em novas formas – mais participativas e democráticas – de tomar decisões sobre a política de C&T no país. Se atingirmos esse grau de maturidade em relação à nanotecnologia, poderemos então dizer que ela representa uma grande novidade, não só científico-tecnológica, como também – e especialmente – social e política. Do contrário, ela continuará repetindo – como temos observado – as velhas formas de desigualdade, dominação e exclusão. Seja na manutenção dessas velhas formas, de um lado, seja na busca de inovações sociais e políticas, de outro, a comunicação exerce um papel central na construção da trajetória da nanotecnologia.

Já li algumas vezes a recomendação de que os cientistas devem se envolver na divulgação científica da nanotecnologia, a fim de que não se repita o que aconteceu com os transgênicos (NATURE NANOTECHNOLOGY, 2009), em relação aos quais a sociedade (ou pelo menos parte dela) reagiu com desconfiança e resistência. Esse enunciado pode ser dividido em três partes. A primeira – aquela em torno da qual deve haver algum consenso – se refere à necessidade de comunicar a nanotecnologia ao público não especialista. Os cientistas, de modo geral, concordam com isso, embora as motivações para a divulgação científica possam variar bastante, desde um senso de responsabilidade social e ética até o mero cumprimento de uma formalidade exigida por quem financia a pesquisa. Variam também as formas de divulgar: algumas fazem propaganda da C&T e se dirigem a um espectador considerado passivo; outras são mais críticas e procuram estabelecer um diálogo com o público.

O segundo aspecto do enunciado diz respeito à importância de

estudar a história social da C&T, buscando aprender com os exemplos de um passado mais ou menos distante, como no caso dos transgênicos. Já a terceira parte sugere que desconfiança e resistência, diante de tecnologias emergentes, não são reações desejáveis. Não são? Por que não? Para responder a essas perguntas, é preciso compreender quais as causas dessas reações.

Se voltarmos à segunda parte da recomendação – estudar a história social da C&T –, veremos que desconfiança e resistência não são injustificadas.

*Substâncias consideradas benéficas hoje podem ser declaradas tóxicas amanhã. [...] Nesse processo de percepção de que bons resultados imediatos podiam não garantir a segurança no longo prazo, foram saindo de cena práticas usuais, como a ingestão de substâncias — petróleo, clorofórmio e amônia — consideradas terapêuticas para uso humano no passado. Se tal utilização nos parece bizarra atualmente, não se pode descartar a proibição futura de compostos hoje consumidos largamente. (BARATA, 2007, p. 16)*

Diante desses exemplos, não seria de se estranhar manter um pé atrás com relação a novas tecnologias que, aparentemente, oferecem inúmeros benefícios. Uma sociedade desconfiada e resistente quer ter acesso à informação, quer que seus interesses e preocupações sejam levados em conta, quer opinar, quer que seus valores e expectativas estejam contemplados no modo como se conduz a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico. Se isso não acontece, que razões ela tem para não reagir com desconfiança e resistência? A conclusão é que, quando se fala em não repetir o que aconteceu com os transgênicos, isso deveria significar combater menos o efeito (um público desconfiado e resistente) e mais a causa (um público carente de informação, participação e poder de decisão sobre os rumos da pesquisa e do desenvolvimento tecnológico).

“Uma crença emergente é que nanociência e tecnologia não podem ser baseadas em práticas do passado, em que a reflexão ética e social é um segundo passo para utilizar a ciência recém-desenvolvida” (SCHULTE; SALAMANCA-BUENTELLO, 2007, p. 1.320). Ou

seja, em vez de primeiro fazer uma determinada nanotecnologia para só depois perguntar se ela atende aos valores e anseios da sociedade, a recomendação é que exista um engajamento público concomitante ao desenvolvimento tecnológico, de modo que a nanotecnologia assim produzida seja legitimada socialmente.

Mas o fato é que a história social da C&T é pouco revisitada, e a divulgação científica da nanotecnologia parece estar sendo feita, majoritariamente, com o propósito de conquistar a confiança e a adesão da sociedade, baseada na estratégia de massificar mensagens sobre benefícios. Na grande mídia, jornais e telejornais entrevistam cientistas, como físicos, químicos, engenheiros, biólogos e médicos, e noticiam resultados que poderão curar doenças, criar novos materiais e utensílios, melhorar a qualidade de vida (KÖRBES; INVERNIZZI, 2014). Resultados que aumentarão a competitividade brasileira em C&T e produzirão inovações para o mercado, com conseqüente crescimento econômico. Notícias que associam o desenvolvimento da ciência do muito pequeno, no presente, a vantagens muito grandes, em um futuro mais ou menos próximo. Esse é o mesmo discurso que embasa a política de C&T, com suas linhas de financiamento para pesquisas voltadas à inovação e ao mercado.

Narrativas sobre incertezas, riscos e impactos sociais e éticos da nanotecnologia recebem menos incentivo e têm menos espaço na grande mídia. E, como a cobertura jornalística de C&T costuma ser fragmentada e descontextualizada, quando os perigos da nanotecnologia ganham algum destaque, é como se aquela nanotecnologia dos riscos não fosse a mesma dos benefícios. Por trás de um nanoproduto benéfico e caro, consumido pelas classes economicamente mais favorecidas, podem estar: uma pesquisa financiada com recursos públicos e explorada comercialmente por uma empresa privada; um processo de produção cuja (in)segurança para os trabalhadores ainda não foi totalmente informada; e um rejeito industrial cuja toxicidade para as comunidades do entorno da fábrica ainda não é suficientemente conhecida. Essa situação ilustra como os sentidos da nanotecnologia são muito mais complexos do que uma fórmula riscos versus benefícios.

Contudo, a imagem da nanotecnologia, refletida na grande mídia, aparenta um desenvolvimento linear, livre de contradições e polêmicas, o que não condiz com a realidade. Uma imagem que negligencia as



vozes discordantes e reforça a ideia de que ciência e tecnologia são domínio exclusivo de um seleto grupo de cientistas, únicas fontes autorizadas a tratar de assuntos tecnocientíficos – a despeito dos interesses e dos impactos que esses assuntos possam ter para os trabalhadores e as entidades que os representam, organizações não governamentais, movimentos sociais, cidadãos e sociedade em geral. Todos esses atores – e frequentemente também os cientistas sociais – são as vozes que não se ouvem na grande mídia. Vozes silenciadas juntamente com temas como saúde e segurança dos trabalhadores, precaução, regulação etc.

É importante destacar, contudo, que esse desequilíbrio de poder no campo da C&T não foi inventado pela grande mídia, embora ela pratique um jornalismo científico que, de modo geral, contribui para a reprodução e a manutenção do status quo. Além disso, não se deve esquecer que os jornalistas são igualmente trabalhadores expostos aos constrangimentos e às pressões do capital, como a alta produtividade a baixo custo, o que coloca em xeque a qualidade do noticiário. Outro aspecto a considerar é que a divulgação científica praticada dentro do ambiente acadêmico, tantas vezes, também promove o elogio e a propaganda da C&T, em vez de favorecer o pluralismo de ideias e a reflexão crítica (RESENDE, 2009).

“Por que estas tecnologias e não outras? Podemos confiar nelas? Quem precisa delas e quais são os interesses subjacentes? Como serão aprovadas e quem as controlará? Quais são os benefícios, e como eles serão distribuídos?” (ROTHBERG; RESENDE, 2010, p. 208). Se o discurso dominante que circula sobre a nanotecnologia não responde satisfatoriamente a essas perguntas, o momento é propício à criação de estratégias de comunicação alternativas – e o terreno da internet pode oferecer possibilidades interessantes. Quando silencia vozes discordantes, a grande mídia reforça o status quo, mas ela também sofre um golpe em sua legitimidade, enquanto os insatisfeitos elaboram seus próprios discursos dissidentes e os publicam diretamente na web. Mensagens assim produzidas podem alcançar uma visibilidade imensa. Mas podem também ter uma circulação limitada... Não existe uma regra para prever se uma mensagem vai “viralizar”, mas ela deve ser capaz de sensibilizar, inquietar, entreter, provocar. Só que, como muita gente ainda desconhece a nanotecnologia ou não se percebe afetado por ela, talvez os riscos dessa tecnologia não chamem tanta atenção no meio de uma avalanche de outros temas e informações que circulam...

Por isso, há de se pensar, paralelamente, em alternativas. Se existem obstáculos para “viralizar” mensagens nas redes sociais da internet, podem-se retomar a construção e o fortalecimento de redes sociais fora da web. Se há obstáculos a uma comunicação “de massa”, de efeito quantitativo, por que não uma comunicação “de formiguinha”, de efeito qualitativo (pelo menos no início)? Por exemplo, grupos de discussão, pautados pelos princípios da pluralidade e do diálogo, envolvendo pesquisadores das diferentes áreas do conhecimento, trabalhadores, professores do Ensino Médio, líderes comunitários e outros cidadãos interessados no debate, que se reúnam nos sindicatos, nas escolas, nas associações de moradores, nos espaços públicos (inclusive na web, mas não exclusivamente nela). Grupos de discussão que empoderem diferentes atores sociais para ter acesso às informações e aos conhecimentos científicos e tecnológicos, apropriar-se desses conteúdos, ressignificá-los e compartilhá-los; promover a reflexão e a crítica sobre os discursos dominantes e excludentes; tomar parte em conferências e consultas públicas, utilizando os (poucos) meios de participação existentes e reivindicando a abertura de novos e mais eficientes canais; acompanhar, questionar e cobrar os responsáveis pela elaboração e a execução de políticas de C&T. Atores sociais empoderados que atuem na multiplicação dos debates sobre a nanotecnologia.

Sim, uma comunicação de “formiguinha” levaria tempo. É sua desvantagem – principalmente porque temos pressa de comunicar os riscos à saúde e ao meio ambiente, que atingem, sobretudo, os grupos e territórios mais vulneráveis. Mas sua vantagem é o efeito. Diferentemente de uma matéria isolada sobre riscos que sai na grande mídia e pode ter algum efeito imediato, mas depois cai no esquecimento, a comunicação “de formiguinha” busca diminuir as desigualdades na distribuição do poder, busca uma mudança no sentido de que a ciência e a tecnologia deixariam de ser domínio exclusivo de determinados cientistas e se tornariam território aberto à sociedade como um todo. Essa seria uma mudança profunda, porque mexeria em uma estrutura de poder sobre a qual a ciência e a tecnologia têm sido construídas há muito, muito tempo. E justamente por isso uma comunicação “de formiguinha” não tem nada de inferior ou singela. Ela é não apenas lenta, como difícil, pois levá-la a efeito requer enfrentar tensões e conflitos históricos.

Também não quero dizer com isso que devemos abandonar as tentativas de inserção das pautas dos trabalhadores na grande mídia.

Uma matéria em um telejornal líder de audiência que aborde saúde e segurança ocupacional, dando vez e voz aos trabalhadores que manipulam nanopartículas, pode ter efeito pouco duradouro, mas seu impacto imediato pode contribuir, nem que seja só um pouco, para abalar a velha estrutura de dominação e exclusão, uma velha engrenagem da qual a grande mídia também é parte integrante. Uma estratégia não invalida outras e elas podem – e devem – ocorrer em paralelo. “Um ponto de partida para se contribuir com a mudança é fomentar a discussão sobre nanotecnologia em saúde tanto através das mídias tradicionais e práticas usuais de educação em saúde quanto pelas novas mídias” (ROTHBERG; RESENDE, 2010, p. 211). O fundamental é que esforços estejam direcionados para uma comunicação mais cidadã da C&T, em geral, e da nanotecnologia, em particular.

Segundo um estudo conduzido no Reino Unido, o que levou as pessoas a posições de inquietação e apreensão não foi simplesmente uma consequência de perceberem que a nanotecnologia poderia permitir aos cientistas e a outros atores ampliarem radicalmente o controle sobre a matéria, a natureza e o corpo humano; mas que tal controle sobre o ritmo, o escopo e a direção da mudança seriam dirigidos por organismos poderosos, impulsionado pela lógica do capitalismo industrial, e onde o público leigo seria “deixado no escuro”. (MACNAGHTEN, 2009, p. 7)

Uma comunicação cidadã não deixa ninguém no escuro.

## *Referências*

- BARATA, G. Conceito do que é tóxico muda através dos tempos. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 1, p. 16-17, 2007. Disponível em: <http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n1/a09v59n1.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- KÖRBES, C.; INVERNIZZI, N. Nanotecnologia em mídias: utopias e distopias. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 10, n. 19, p. 8-18, 2014. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/2652/1759>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- MACNAGHTEN, P. Engaging nanotechnologies: a case study of ‘up- stream’ public engagement. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 1-18, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/v12n1/v12n1a02.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2016.
- NATURE NANOTECHNOLOGY. Keeping the public under the microscope. Editorial. **Nature Nanotechnology**, v. 4, p. 695, 2009. Disponível em: [www.nature.com/articles/nnano.2009.320.pdf](http://www.nature.com/articles/nnano.2009.320.pdf). Acesso em: 14 jul. 2016.
- RESENDE, L. P. **Inovação, estudos CTS e comunicação científica**: a divulgação das pesquisas de materiais cerâmicos e nanotecnologia. 2011. 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Tecnologia e Sociedade) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.
- ROTHBERG, D.; RESENDE, L. P. Saúde, comunicação e nanotecnologia: o papel do debate público para a expansão da cidadania. **Alceu**, v. 11, n. 21, p. 202-214, 2010. Disponível em: [http://revistaalceu-acervo.com.puc-rio.br/media/Alceu21\\_13.pdf](http://revistaalceu-acervo.com.puc-rio.br/media/Alceu21_13.pdf). Acesso em: 14 jul. 2016.
- SCHULTE, P.A.; SALAMANCA-BUENTELLO, F. Ethical and scientific issues of nanotechnology in the workplace. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 5, p. 1.319-1.332, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/ds4FL3BzxwYcBc4TZrWpbrk/?lang=en&format=pdf>. Acesso: 14 jul. 2016.





Capítulo XI

**NANOTECNOLOGIAS NO  
CENÁRIO INTERNACIONAL**



## *Apresentação*

*Paulo Martins*

O cenário internacional das nanotecnologias a ser abordado neste capítulo irá abarcar a América Latina e a Europa. Claro que há o desenvolvimento das nanotecnologias em outros continentes, mas estes continentes aqui apresentados são aqueles com os quais o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil mantém uma relação mais próxima, com atividades conjuntas por meio das redes de pesquisadores de caráter intercontinentais ou multilaterais. Noela Invernizzi, da Universidade Federal do Paraná, do Brasil, e Guillermo Foladori, da Universidade Autônoma de Zacatecas, do México, a partir do “posto de observação” materializado na Rede Latino-americana de Nanotecnologia e Sociedade (Relans), nos apresentam o texto denominado “A nanotecnologia na América Latina: qual o enfoque sobre os riscos No texto, traçam um rápido panorama das nanotecnologias na América Latina, indicam as posições das ONGs e sindicatos face ao avanço da comercialização da nanotecnologia e indicam três questões-chave demandadas pelos atores trabalhados no artigo.

Aída Ponce Del Castillo, chefe da unidade de saúde, segurança, condições de trabalho do Instituto das Centrais Sindicais Europeias, apresenta primeiramente uma breve avaliação das ações da Comissão Europeia em torno dos nanomateriais. A seguir apresenta as iniciativas em busca de uma nanogovernança, realizada pelos Estados-membros e suas medidas legais para obter mais informação. O tema seguinte tratado pela autora é o nanorregistro europeu, proposta que acabou sendo recusada. Aída também analisa o tema REACH, indicando propostas concretas para se regulamentar os nanomateriais via REACH, que acabaram por se deixar passar. Por fim, responde à questão: “Qual o futuro da nanorregulação na Europa?”. Com os textos deste capítulo, os leitores terão uma visão geral, abrangente, dos temas que mais preocupam os atores sociais presentes nos desenvolvimentos das nanotecnologias na América Latina e na Europa.





# *A regulação europeia dos nanomateriais: um diálogo de surdos<sup>14</sup>*

*Aida Ponce del Castillo*

## *Introdução*

A nanotecnologia e os nanomateriais apareceram no foco da Comissão Europeia desde o início dos anos 2000. Logo no começo, a Comissão Europeia publicou um plano de ação para a Europa 2005-2009 que tinha como objetivo reforçar sua liderança na pesquisa, desenvolvimento e inovação, integrando aspectos ambientais, de saúde, de segurança e sociais (COMISSÃO EUROPEIA, 2005). O que começou como um tema científico e tecnológico de imediato se transformou em um dos temas mais controversos. Até julho de 2016, foram aproximadamente dez anos de negociações difíceis e, às vezes, paralisadas. Por outro lado, os Estados-membros e o Parlamento Europeu solicitavam informação e regras concretas; por outro lado, a Comissão Europeia retinha qualquer iniciativa legislativa. Este capítulo apresenta o desenvolvimento das iniciativas em busca da regulação, inclui exemplos de Estados-membros e destaca aquelas questões que ainda estão na mesa de negociação e demandam resposta de curto prazo.

---

<sup>14</sup> Traduzido por Paulo Martins.



## *Ações da Comissão Europeia em torno dos nanomateriais: breve avaliação*

É importante ligar a discussão dos nanomateriais às Normas de Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Substâncias Químicas (REACH<sup>15</sup>), já que são elas que as regulam. Entretanto, quando as REACH foram negociadas, as características específicas dos nanomateriais não foram levadas em conta. Embora os atores industriais insistam em que os nanomateriais estejam no mercado há muitos anos, suas características específicas não foram objeto das REACH.

As normas REACH entraram em vigor em 2007. Sua importância está no fato de que as empresas têm a responsabilidade de reunir as informações, as propriedades e os usos das substâncias que fabricam ou importam e entregá-las à Agência Europeia de Substâncias Químicas (ECHA), que tem a responsabilidade de reunir, registrar e avaliar essa informação. A prova de que as substâncias são seguras são de responsabilidade do produtor ou importador. Sem esta informação, as substâncias não podem estar no mercado (no data, no market). Este princípio é aplicável a todas as substâncias químicas produzidas a partir de 1 tonelada por ano. Infelizmente, isso não se refere aos nanomateriais, o que se pode considerar como uma lacuna jurídica. Em vez de corrigir esta situação com previsões legais explícitas, as REACH determinam um grupo de especialistas que tem como objetivo discutir aspectos científicos e técnicos e dar conselhos sobre a implantação dessas normas e daquelas para classificação, etiquetagem e embalagem de substâncias e misturas relativas aos nanomateriais.

A nanotecnologia e os nanomateriais são promissoras para a indústria europeia. Isso foi confirmado pela Comissão ao estabelecer sua primeira estratégia nano para o período 2007-2013 com um financiamento de 3,5 bilhões de euros destinados à pesquisa. Além disso, a nanotecnologia e os nanomateriais foram incluídos como uma das seis “tecnologias facilitadoras” (*Key Enabling Technologies – KETS*). Para a Comissão Europeia (CE), as nanotecnologias representam um progresso importante, já que apontam soluções inovadoras sobretudo,

---

<sup>15</sup> Do inglês Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals.

por meio das pequenas e médias empresas, e são consideradas como principais motores de mudança das indústrias em todo o mundo, assim como de bens e serviços (COMISSÃO EUROPEIA, 2009).

A regulação dos nanomateriais não tem sido tão favorecida quanto seu funcionamento. A regulação começou a ser discutida pouco tempo depois da entrada em vigor das REACH. Em 2008, as Direções Gerais *Growth y Environment* (Crescimento e Meio Ambiente) estabeleceram o grupo de trabalho CASG-Nano (Subgrupo de Autoridades competentes para REACH). Este grupo é composto por representantes de Estados-Membros, indústrias, organizações ambientais e sindicatos. Tem como mote discutir como se aplicam as disposições das REACH aos nanomateriais, já que a Comissão considera que elas são o marco legal e, “em princípio”, cobrem seu funcionamento. As discussões atuais se centram na adequação e na aplicação ou não da legislação da União Europeia (UE), aos tipos de nanomateriais e à sua utilização, assim como aspectos de exposição, segurança humana e meio ambiental.

Com um ponto de vista diferente da CE, o Parlamento Europeu não considera que a legislação vigente seja adequada aos nanomateriais, nem para as salvaguardas dos aspectos relativos à saúde e segurança humana e meio ambiente. Isto tem pressionado a CE para que desenvolva ações mais contundentes. Em sua resolução de 2009, conclui que o uso dos nanomateriais deve responder às necessidades reais dos cidadãos e que seus benefícios devem garantir de maneira segura e responsável dentro de um marco normativo e político claro. A CE pede para fixar apenas uma definição harmoniosa e aplicável a toda a legislação da UE aos nanomateriais e que, em consequência, se adapte ao marco legislativo. Também pede a Comissão que estabeleça um registro dos nanomateriais fabricados ou importados abaixo de 1 tonelada, considerando todos os nanomateriais como substâncias novas e a elaboração de um informe sobre segurança química, assim como os requisitos de notificação dos nanomateriais comercializados isoladamente em preparações ou em artigos (PARLAMENTO EUROPEU, 2009).

Alguns anos depois, a CE publicou a recomendação da definição de nanomaterial. Esta definição leva em conta o tamanho das partículas que compõem um material em vez de seu perigo e seu risco. Assim, entende-se por nanomaterial “um material natural, secundário ou fabricado com partículas, soltas ou formando um agregado ou aglomerado e

em que 50% ou mais das partículas na granulometria numérica apresente uma ou mais dimensões externas no intervalo de tamanho compreendido entre 1nn a 100nm”. Ainda que não tenha caráter obrigatório, a CE recomenda utilizar esta definição em diversos regulamentos europeus. Alguns regulamentos europeus têm incorporado esta definição.

O regulamento 528/2012 cuida da comercialização e do uso de biocidas, neste sentido: a aprovação de substância ativa não inclui a forma nano da substância ativa, a menos que se indique explicitamente. No caso das nanoformas de substâncias ativas, deve preparar-se normalmente um expediente independente com todos os dados. Além disso, na etiqueta do biocida deve figurar o nome de cada material seguido da palavra “nano” entre parênteses (Echa).

No regulamento dos cosméticos 1.223/2009, também se incorpora a definição da CE. A partir de 2013, os nanomateriais são etiquetados com a lista de ingredientes com a palavra “nano”. Entre parênteses, traz o nome da substância. Além disso, os corantes, os conservantes e os filtros ultravioleta em nanoforma devem ser autorizados explicitamente. No caso de a Comissão ter alguma dúvida, os produtos com outros nanomateriais para os quais as normas sobre os cosméticos não imponham nenhuma outra restrição serão objetos de uma avaliação completa de segurança.

## ***Iniciativas em busca de uma nanogovernança***

### ***Os Estados-membros e suas medidas legais para obter mais informações***

Diante da cautela da Comissão Europeia para executar qualquer ação que implique regular os nanomateriais, diversos Estados-membros começaram a expressar sua inconformidade. Sua estratégia foi a de iniciar ação legislativa e estipular regras para obter o que a Comissão não foi capaz de fazer, ou seja, informações que não podem ser obtidas via REACH. Estas iniciativas nacionais focalizaram em estabelecer um sistema de registro obrigatório. Exigem do produtor ou importador que declare às autoridades nacionais as informações sobre as característi-

cas de substâncias em nanoescala, os volumes de produção e os usos comerciais. O objetivo é saber o que entra no mercado; rastrear a substância ou o produto ao longo da cadeia de fornecedores; eventualmente saber quem está exposto e quem pode atuar em caso de exposição perigosa; e sanar nacionalmente a ausência de regras europeias.

A rastreabilidade, a transparência e a informação de que as provas necessárias têm sido feitas para assegurar a proteção à saúde humana e ambiental são a razão de ser dos registros. Assim, em 2012, em um comunicado da Comissão Europeia, 12 países solicitaram adaptar a legislação para contemplar os nanomateriais, propor uma legislação europeia sobre o registro e a vigilância do mercado e propor regras para resolver as lacunas (volumes, obtenção de informação no REACH, obtenção de informação relativa à caracterização e às provas de nanomateriais), levando em consideração o justo balanço e os benefícios sociais, ambientais e econômicos (MINISTRY OF INFRASTRUCTURE AND THE ENVIRONMENT OF THE NETHERLANDS, 2012).

Alguns países começaram a implementar registros obrigatórios para a indústria que, em desacordo a estas medidas, apelava para causas de confidencialidade e segredo comercial. A França foi o primeiro país a estabelecer este registro obrigatório em 2013, seguido da Bélgica, da Dinamarca e da Suécia. Após três anos de vigência do registro francês, os resultados mostram mais de 14.000 declarações, no que implica aproximadamente 300 categorias de substâncias em forma nano. A Bélgica relata mais de 300 inscrições, realizadas por pelo menos 100 empresas. Mais de 150 substâncias têm sido registradas e quase todas também aparecem no registro francês. Os esforços e os resultados gerados têm sido positivos, mas ainda existem dificuldades relacionadas com como identificar a substância em seu estado nanoparticular quando não existe um marco de referência claro (MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER, 2015; SPF, 2016; PONCE DEL CASTILLO, 2011).

## ***O nanorregistro europeu: proposta recusada***

A este respeito, a CE apresentou um relatório que avalia a possibilidade da legislação para incrementar a transparência dos nanomateriais comercializados (RPA et al., 2014), que surge de uma consulta pública. Em março de 2016, a Comissão Europeia anunciou que não iria impor um registro europeu de nanomateriais e que optaria por uma plataforma web, que compilaria a informação existente para comunicar aos atores sociais mais relevantes: trabalhadores, consumidores e reguladores. No entanto, a Comissão não a executaria a tarefa, mas, sim, encomendaria este enorme trabalho à Agência ECHA que, a princípio, estaria financiada até 2019 (EC, 2016).

Um ponto central é que, para a ECHA, isso consiste em um novo mandato. Existe certa incerteza sobre como coletar a informação, de que maneira estabeleceria os critérios para fazer a seleção das informações recebidas de todas as fontes, como orientaria a comunicação para a diversidade de atores. Os trabalhadores, consumidores e reguladores têm estruturas muito variadas.

No caso dos trabalhadores, eles estão potencialmente expostos em todo o ciclo de vida dos nanomateriais. Não será o mesmo comunicar informação àqueles que trabalham na manutenção, no laboratório, ou aos que têm contato com resíduos. Mesmo a ECHA tendo a vantagem de acesso à informação dos registros, parece que não se dá conta de que os atores sociais esperam que ela seja neutra, satisfaça suas necessidades) e traga a aclamada resposta as inquietudes deles. Em qualquer caso, as notícias da ECHA são esperadas para breve, pois a agência se comprometeu a apresentar os resultados no fim de 2016<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> “A ECHA (<https://echa.europa.eu/>) possui várias publicações sobre o tema, mesmo que ainda em 2021 não haja consenso sobre quais as melhores formas de endereçar os riscos oriundos dos nanomateriais.”



## ***Regulamentar nanomateriais através de REACH: propostas concretas que se deixam passar***

Adaptar os anexos de REACH é considerado, pela maioria dos Estados-membros e atores sociais, no mínimo, como um primeiro passo. Em concreto, a Alemanha tem sido precursora e sugere mudanças adicionais às REACH: estabelecer um patamar mínimo de 100 kg para nanomateriais e rebaixar de 10 toneladas para 1 tonelada o patamar mínimo a partir do qual um relatório de segurança química deve ser preparado.

A proposta foi aceita pelos Estados-membros e atores sociais do Grupo CASG-nano. Foi analisada, modificada e melhorada junto com a indústria e a CE em 2014. Sem dúvida, a CE deixou esta proposta e colocou na mesa de negociação um novo texto, menos específico e menos restritivo para a indústria. As propostas dos grupos sociais, como os sindicatos, não foram levadas em conta; e a proposta da Alemanha acabou sendo, até a redação deste texto, desbancada.

### ***Qual o futuro da nanorregulação na Europa?***

Na Europa, falta uma política concreta para regulamentar as tecnologias emergentes, como os nanomateriais e as nanotecnologias. A estratégia da Comissão reflete uma ambição de progresso e inovação industrial e tecnológica, e também desregulamentadora. Isso não ajuda a formar um marco jurídico nem uma estratégia política para Europa ou para os Estados-membros que, pelo contrário, promovem iniciativas mais concretas em busca da rastreabilidade, transparência e segurança. A grande divergência das iniciativas desencadeia incertezas, lacunas legais e falta de aceitação por parte dos grupos sociais. A Comissão também necessita abrir-se a estas exigências nacionais e sociais.

Mesmo tendo em conta os envolvidos neste debate, põem-se em dúvida a participação e a inclusão real no processo das Organizações Não Governamentais (ONGs), dos consumidores e dos sindicatos e se suas propostas são tomadas em conta pela Comissão Europeia. A segurança, a transparência e a governança tecnológica não estão hoje garantidas. Os benefícios dos nanomateriais na sociedade ainda seguem pendentes.

## *Referências*

COMISIÓN DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS. **Nanociencias y nanotecnologías: un plan de acción para Europa 2005-2009. Primer informe de aplicación 2005 -2007.** Bruxelas, 2005. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0505:FIN:ES:PDF>. Acesso em: 28 maio 2018.

COMISIÓN EUROPEA. **Preparar nuestro futuro: desarrollo de una estrategia común en la UE para las tecnologías facilitadoras esenciales.** Bruxelas, 2009. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009DC0512&from=CS>. Acesso em: 26 jul. 2021

COMISIÓN EUROPEA. **Segunda revisión de la normativa sobre los nanomateriales.** Bruxelas, 2012. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0572:FIN:ES:PDF>. Acesso em: 28 maio 2018.

COMISIÓN EUROPEA. **Workshop on the nanomaterials observatory.** Bruxelas, 2016.

ECHA. **Los nanomateriales de conformidad con el reglamento biocidas.** Disponível em: <https://echa.europa.eu/es/regulations/nanomaterials-under-bpr>. Acesso em: 28 maio 2018.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER. **Éléments issus des déclarations des substances à l'état nanoparticulaire: rapport d'étude 2015.** Disponível em: <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2015-12%20-%20Rapport%20R-nano%202015.pdf>. Acesso em: 28 maio 2018.

MINISTRY OF INFRASTRUCTURE AND THE ENVIRONMENT OF THE NETHERLANDS. **Note on the safety of nanomaterials to European Commission directorate-general for environment.** The Hague, 2012.

PARLAMENTO EUROPEO. **Resolución del Parlamento Europeo, de 24 de abril de 2009, sobre los aspectos reglamentarios de los nanomateriales. Bruxelas, 2009.** Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-6-2009-0328\\_EN.html?redirect](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-6-2009-0328_EN.html?redirect). Acesso em: 28 maio 2018.

PONCE DEL CASTILLO, A. **Nano governance: how should the EU implement nanomaterial traceability?** Bruxelas: ETUI, 2011. Disponível em: [https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-6-2009-0328\\_EN.html?redirec](https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-6-2009-0328_EN.html?redirec). Acesso em: 28 maio 2018.

RPA. *et al.* **Study to assess the impact of possible legislation to increase transparency on nanomaterials in the market:** building blocks report. Norfolk, UK: London, 2015.

SPF SANTE PUBLIQUE. **Nanoregistre:** les premiers chiffres. 2016. Disponível em: <https://www.health.belgium.be/fr/news/nanoregistre-les-premiers-chiffres>. Acesso em: 28 maio 2018. *m.be/fr/news/nanoregistre-les-premiers-chiffres*>. Acesso em: 28 maio 2018.

# *A nanotecnologia na América Latina: qual o enfoque sobre os riscos?*

*Noela Invernizzi; Guillermo Foladori*

## ***Introdução***

Há somente 15 anos do lançamento da Iniciativa de Nanotecnologia nos EUA – à qual seguiram programas do gênero em muitos países desenvolvidos e em desenvolvimento (SARGENT, 2013), o mercado global de produtos com nanotecnologia chegou a 26 mil milhões de dólares (BCC RESEARCH, 2014). A pesquisa continua avançando, com investimentos dos países desenvolvidos que se incrementam ao ritmo de 40-45% ao ano (LUX RESEARCH, 2014).

Acadêmicos, algumas organizações científicas<sup>17</sup> e internacionais e grupos da sociedade civil organizada, chamaram a atenção para o surgimento de uma brecha entre o acelerado desempenho da pesquisa e da comercialização de produtos contendo nanotecnologia e a escassa avaliação de seus potenciais riscos (ETC GROUP, 2003; RS&RAE, 2004; UNESCO, 2006; MILLER; SCRINIS, 2010). Tais riscos foram evidenciados por um conjunto de publicações científicas. Não obstante o conhecimento sobre riscos seja ainda limitado, é possível afirmar que existe uma dúvida razoável de que algumas nanopartículas comportam riscos para os trabalhadores, os consumidores e o ambiente (KULINOWSKI, 2009; MAYNARD et al., 2006).

Nesse contexto, foi lançada em 2006 a Rede Latino-americana de Nanotecnologia e Sociedade (ReLANS), com o propósito de promover pesquisas sobre os impactos sociais e ambien-

---

<sup>17</sup> A base de publicações científicas sobre ambiente, saúde e segurança dos nanomateriais compilada pelo International Council on Nanotechnology da Universidade de Rice, dos Estados Unidos, (<http://icon.rice.edu/report.cfm>) registrou, entre 2001 e 2014, 3.993 artigos arbitrados por pares que tratam dos riscos das nanopartículas mais utilizadas (a busca na base foi feita usando os termos: Carbon OR Metal OR Organic/Polymers OR Semiconductor OR Oxide---Hazard-- Peer Reviewed Journal Article). <http://cben.rice.edu/industry/icon.aspx>

tais da nanotecnologia. Ao longo de dez anos, a rede tem publicado um conjunto de livros e de folhetos de divulgação sobre o tema<sup>18</sup>. Com base em alguns desses trabalhos, fazemos, no primeiro tópico deste breve capítulo, uma revisão sobre o desenvolvimento da nanotecnologia na América Latina, onde tem sido considerada área prioritária nas políticas de ciência, tecnologia e inovação, mostrando a tardia emergência da preocupação com os riscos. Em seguida, no segundo tópico, abordamos algumas ações realizadas por sindicatos e ONGs que tendem a reivindicar a segurança das nanotecnologias. Finalizamos com um breve comentário mostrando que esses grupos sociais demandam a inclusão dos princípios da precaução, da responsabilidade e da informação transparente nas políticas de nanotecnologia.

### *As nanotecnologias na América Latina*

Os pesquisadores da América Latina começaram a investigar sobre a funcionalidade dos nanomateriais nos anos 1990. Contudo, as estratégias públicas de impulso à nanotecnologia só surgiriam na região uma década depois, na esteira das iniciativas lançadas pelos países desenvolvidos (FOLADORI et al., 2012). A temática também foi impulsionada nas agendas e nas políticas de pesquisa como resultado da participação de cientistas locais em redes internacionais e pelas recomendações das organizações internacionais para considerar a nanotecnologia como tema estratégico. Assim, a partir de meados de 2000, a maior parte dos países de América Latina tinha incluído a nanotecnologia como área prioritária em seus planos nacionais de ciência, tecnologia e inovação, junto com a biotecnologia e as tecnologias da informação e da comunicação, e dedicaram fundos públicos para estimular a

---

<sup>18</sup> As questões principais abordadas nessas publicações foram: questões teóricas sobre os impactos sociais das nanotecnologias (FOLADORI; INVERNIZZI, 2006, orgs.); as políticas públicas de estímulo à nanotecnologia na América Latina (FOLADORI; INVERNIZZI, 2008a; FOLADORI; INVERNIZZI; ZÁYAGO, 2012, orgs.); nanotecnologia e agricultura (FOLADORI; INVERNIZZI, 2008b, orgs); regulação e impactos sobre o trabalho (FOLADORI et al., 2015); e empresas que pesquisam e comercializam produtos com nanotecnologia na América Latina (FOLADORI; INVERNIZZI; ZAYAGO LAU, 2016, orgs.). Uma série de folhetos de divulgação foram elaborados em colaboração com pesquisadores do IPEN (International POPs Elimination Network) –organização da qual ReLANS forma parte– sobre os riscos sociais e ambientais das nanotecnologias com foco na América Latina, África e região Asia-Pacífico. (Ver: <http://www.relans.org/Publicaciones.html>)

área (FOLADORI, 2012). Entre eles, Brasil e Argentina destacaram-se por elaborarem programas nacionais de nanotecnologia em 2004 e 2005 respectivamente (FOLADORI et al., 2012; INVERNIZZI, 2010).

Brasil, México e Argentina são os países com maior desenvolvimento da nanotecnologia na região, tanto em termos da pesquisa quanto da produção e da comercialização de produtos. Nos três países, fundos públicos financiaram redes de pesquisa, montando laboratórios especializados e ampliando a formação de recursos humanos (FOLADORI; INVERNIZZI, 2013). Embora não existam registros detalhados sobre as empresas que produzem artigos com nanocomponentes, algumas estimativas indicam que há mais de 130 no Brasil e no México e 45 na Argentina (APPELBAUM et al., 2016; PLENTZ, 2013; ZAYAGO LAU et al., 2015).

Como resposta à preocupação pelos potenciais riscos dos nanomateriais para a saúde e o ambiente, nos Estados Unidos e na União Europeia, assim como em alguns outros países industrializados, intensificou-se o debate sobre a necessidade de regular as nanotecnologias desde finais da década de 2000 (FOLADORI; INVERNIZZI, 2016). Na América Latina, entretanto, a temática dos riscos dos nanomateriais foi incorporada bastante tardiamente e é ainda pouco presente nas agendas de pesquisa (FOLADORI, 2012). No Brasil, o CNPq lançou em 2011 um edital para a formação de redes de pesquisa em nanotoxicologia, implementando seis redes (PLENTZ, 2013), o que denota um importante avanço. Não obstante, não há, na região, uma política explícita dos governos para acompanhar todas as pesquisas em nanotecnologia de uma análise de riscos, nem por avaliar o desenvolvimento de produtos em termos dos riscos durante seu ciclo de vida, o que coloca em xeque sua sustentabilidade. Por exemplo, uma revisão de mais de 4.400 artigos científicos sobre nanotecnologia de autores com residência em México mostrou que somente 25 artigos tinham como objetivo de pesquisa a toxicidade dos nanomateriais, o que representa 0,6% da produção científica durante os 12 anos abarcados pela revisão (ZÁYAGO LAU et al., 2014).

## ***As posições de ONGs e sindicatos face ao avanço da comercialização da nanotecnologia***

Várias ONGs têm realizado estudos, elaborado documentos e lançado declarações públicas sobre os potenciais riscos dos nanomateriais (INVERNIZZI; FOLADORI, 2013). A preocupação desses grupos sociais responde ao aumento de pesquisas que mostram que determinadas nanopartículas são tóxicas para alguns organismos vivos ou revelam toxicidade em experimentos *in vitro* (cf. International Council on Nanotechnology, citado na nota de introdução deste artigo).

A característica típica dos nanomateriais de manifestarem propriedades físico-químicas e desatar reações biológicas diferentes das observadas nos mesmos materiais em escalas maiores é o que os torna tão atraentes aos pesquisadores e à indústria. Mas são essas mesmas características que criam incerteza sobre sua potencial toxicidade (KULINOWSKI, 2009; MAYNARD et al., 2006; OBERDÖRSTER; OBERDÖRSTER, 2005).

Desde o início da década de 2000, ONGs, sindicatos e coalizões de ambos os tipos de organização têm emitido declarações públicas reivindicando que os nanomateriais não sejam lançados ao mercado sem prévios estudos que garantam sua segurança para a saúde dos trabalhadores e consumidores e para os ecossistemas (ETC GROUP, 2003; ETUC, 2008, 2010; GREENPEACE, 2007; IUF, 2007; MILLER; SENJEN, 2008; NANOACTION, 2007). Estas organizações insistem em que o problema se torna mais grave pelo fato de a maioria dos produtos que contêm nanotecnologia entrarem no mercado sem nenhum tipo de informação para os trabalhadores e consumidores sobre seu conteúdo, reivindicando uma política de transparência. A situação dos trabalhadores que manipulam nanopartículas em seus locais de trabalho requer ações preventivas urgentes. De um lado, porque estudos sobre potenciais riscos dos nanomateriais assinalam que são os trabalhadores o grupo mais exposto e, portanto, sujeito a maior risco (SCHULTE et al., 2008). Por outro lado, porque os materiais nanoparticulados que se utilizam como insumos nos processos produtivos são incorporados em quantidades extremamente pequenas – mesmo assim, sua presença implica efeitos físico-químicos e biológicos decisivos – e podem, portanto, passar despercebidos para quem os manipula. Ademais, os trabalhadores estão

sujeitos a cláusulas de confidencialidade em seus contratos laborais, que frequentemente implicam travas ao fluxo de informação.

A European Trade Union Confederation (ETUC) e alguns sindicatos nacionais europeus participam ativamente em negociações para orientar as nanotecnologias em direção a um desenvolvimento seguro e sustentável (INVERNIZZI, 2012; INVERNIZZI; FOLADORI, 2013). Já entre os sindicatos da América Latina, o conhecimento sobre as novas propriedades dos insumos nanotecnológicos é muito escasso. Ao mesmo tempo em que esse desconhecimento impede aos trabalhadores de adotar medidas de proteção, oculta a responsabilidade dos produtores face a potenciais riscos.

Cabe destacar, entretanto, que alguns sindicatos têm dado passos importantes para informar seus membros e protegê-los frente a eventuais novos riscos. A União Internacional de Trabalhadores da Alimentação, Agricultura e Ramos Afins (UITA) lançou uma declaração regional latino-americana em 2006, que depois foi aprovada mundialmente em 2007. Nela, criticava-se a falta de transparência na informação sobre nanotecnologia e reivindicava-se a necessidade de regulação (FOLADORI; INVERNIZZI, 2008c; IUF, 2007). O sindicato da indústria farmacêutica do Estado de São Paulo (Sindusfarma) conseguiu incluir, em 2012, após três anos de negociações, uma cláusula no convênio coletivo de trabalho que compromete as empresas a informarem seus trabalhadores caso utilizem nanotecnologia no processo industrial, assim como sobre seus potenciais riscos (FERREIRA JENSEN, 2013). Embora relevantes, trata-se ainda de exemplos isolados em um contexto geral de desinformação.

O ReLANS, em colaboração com o Center for Nanotechnology in Society (CNS) da Universidade da Califórnia, organizou em 2013 o Seminário Internacional sobre Nanotecnologia e Trabalho na cidade de Curitiba. Nesse encontro, foi elaborada uma declaração reivindicando a inclusão de dois aspectos cruciais, de interesse dos trabalhadores, na política de nanotecnologia: o enfoque de precaução e a transparência de informação (FOLADORI et al., 2015). O enfoque na precaução estabelece que, se uma ação ou uma política podem provocar danos severos ou irreversíveis ao público ou ao meio ambiente, ou quando os efeitos adversos não são totalmente conhecidos, a falta de certeza científica não deve ser usada como argumento para dilatar medidas preventivas.



A transparência de informação é um direito básico da democracia; contudo, ocorre que os trabalhadores não dispõem de informação sobre que nanomateriais manipulam. A Resolução 154 da Organização Internacional do Trabalho envolve o compromisso, nos países-membros, de dar a conhecer aos sindicatos a informação necessária para alcançar negociações construtivas sobre as condições de trabalho (OIT, 2005).

### ***Comentário final***

Após uma década de entrada crescente de produtos contendo nanomateriais no mercado, não existem, em nível mundial, medidas regulatórias homogêneas, apesar de algumas tentativas, sobretudo por parte da União Europeia (FOLADORI; INVERNIZZI, 2016). ONGs e sindicatos vêm manifestando a necessidade de evitar que a dinâmica do mercado atrole os critérios de segurança para a saúde e o ambiente. Esses atores sociais demandam três questões-chave: o princípio de precaução, a responsabilidade ampliada do produtor durante todo o ciclo de vida dos nanomateriais e a transparência de informação para os trabalhadores e consumidores.

## Referências

- APPELBAUM, R. *et al.* Inventory of nanotechnology companies in Mexico. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 18, n. 2, 2016.
- BCC RESEARCH. **Nanotechnology**: a realistic market assessment. BCC Research, 2014. Disponível em: [http://www.reportlinker.com/p096617/Nanotechnology-A-Realistic-Market-Assessment.html#utm\\_source=prnewswire&utm\\_medium=pr&utm\\_campaign=Nanotechnology](http://www.reportlinker.com/p096617/Nanotechnology-A-Realistic-Market-Assessment.html#utm_source=prnewswire&utm_medium=pr&utm_campaign=Nanotechnology). Acesso em: 28 maio 2018.
- ETC GROUP. **The big down**: technologies converging at the nanoscale. ETC, 2003. Disponível em: <https://www.etcgroup.org/content/big-down-0>. Acesso em: 18 fev. 2015.
- ETUC. **ETUC resolution on nanotechnology and nanomaterials**. ETUC, 2008. Disponível em: [https://www.etuc.org/sites/default/files/ETUC\\_resolution\\_on\\_nano\\_-\\_EN\\_-\\_25\\_June\\_08\\_2.pdf](https://www.etuc.org/sites/default/files/ETUC_resolution_on_nano_-_EN_-_25_June_08_2.pdf). Acesso em: 12 mar. 2009.
- ETUC. **ETUC resolution on nanotechnologies and nanomaterials**. European Trade Union Confederation, 2010. Disponível em: [https://www.etuc.org/sites/default/files/ETUC\\_resolution\\_on\\_nano\\_-\\_EN\\_-\\_25\\_June\\_08\\_2.pdf](https://www.etuc.org/sites/default/files/ETUC_resolution_on_nano_-_EN_-_25_June_08_2.pdf). Acesso em: 1 jun. 2018.
- FERREIRA, J. T. **Mais um ano sem informação sobre nanotecnologias na indústria química paulista**. Por quê? nov. 2013.
- FOLADORI, G. *et al.* Características distintivas del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. **Sociologias**, v. 14, n. 30, p. 330-363, 2012.
- FOLADORI, G. Riesgos a la salud y al medio ambiente en las políticas de nanotecnología en América Latina. **Sociológica**, v. 27, n. 77, p. 143-180, 2012.
- FOLADORI, G. *et al.* **Nanotecnologías en América Latina**: trabajo y regulación. México, DF: Miguel Angel Porrúa, 2015.
- FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. (Coord.). **Las nanotecnologías en América Latina**. México, DF: Miguel Angel Porrúa, 2008a.
- FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. (Eds.). **Nanotecnologías en la alimentación y agricultura**. Montevideo: Universidad de la República, 2008b.
- FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. “The workers push to democratize nanotechnology”. In: FISHER, E.; SELIN, C.; WETMORE, J. (Eds.). *The yearbook of nanotechnology in society*. London: Springer, 2008c. p. 23-26.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. Inequality gaps in nanotechnology development in Latin America. **Journal of Arts and Humanities**, v. 2, n. 3, p. 36-45, 2013.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N. La regulación de las nanotecnologías: una mirada desde las diferencias EUA-UE. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 4, n. 2, p. 8-20, maio 2016.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N.; ZÁYAGO, E. Perspectivas sobre el desarrollo de las nanotecnologías en América Latina. (Coord.). México, DF: Miguel Angel Porrúa, 2012.

FOLADORI, G.; INVERNIZZI, N.; ZAYAGO LAU, E. (Eds.). **Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina**. Ciudad de México: Miguel Angel Porrúa, 2016.

GREENPEACE. **Nanotechnology policy and position paper**. 2007. Disponível em: <https://wayback.archive-it.org/9650/20200515234913/http://p3-raw.greenpeace.org/denmark/Global/denmark/p2/other/report/2007/nanotechnology-policy-position.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2013.

INVERNIZZI, N. "Science policy and social inclusion: advances and limits of brazilian nanotechnology policy". In: COZZENS, S.; WET-MORE, J. M. (Eds.). *Yearbook of nanotechnology in society*. New York: Springer, 2011. p. 291-307

INVERNIZZI, N. "Implications of nanotechnology for labor and employment. Assessing nanotechnology products in Brazil". In: Parker, R.; Appelbaum, R. (Eds.). *Can emerging technologies make a difference in development?* New York: Routledge, 2012. p.140-152

INVERNIZZI, N.; FOLADORI, G. Posições de sindicatos e ONGs sobre os riscos e a regulação da nanotecnologia. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia**, v. 1, n. 4, p. 72-84, 2013.

IUF. **Resolución sobre nanotecnología**. 2007. Disponível em: <http://www6.rel-uita.org/sindicatos/congreso-uita-2007/resoluciones/resolucion-nano.htm>. Acesso em: 10 mar. 2012.

KULINOWSKI, K. **Temptation, temptation, temptation: why easy answers about nanomaterial risk are probably wrong**. Azo Nano, 2009.

LUX RESEARCH. **Nanotechnology update: corporations up their spending as revenues for nano-enabled products increase**. 2017. Disponível em: [https://portal.luxresearchinc.com/research/report\\_excerpt/16215](https://portal.luxresearchinc.com/research/report_excerpt/16215). Acesso em: 18 jun. 2016.

MAYNARD, A. *et al.* Safe handling of nanotechnology. **Nature**, v. 444, n. 16, 2006.

MILLER, G.; SCRINIS, G. “The role of NGOs in governing nanotechnologies: challenging the ‘benefits versus risks’ framing of nanotech innovation”. *In*: HODGE, G. A.; BOWMAN, D.; MAYNARD, A. D. (Eds.). *International handbook on regulating nanotechnologies*. Cheltenham: Northampton: Edward Elgar, 2010. p. 409-445.

MILLER, G.; SENJEN, R. Out of the laboratory and into the food chain: nanotechnology in food and agriculture. Australia: Friends of Earth, 2008. Disponível em: [https://1bps6437gg8c169i0y1drtgz-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/legacy/Nanotechnology\\_in\\_food\\_and\\_agriculture\\_-\\_web\\_resolution.pdf](https://1bps6437gg8c169i0y1drtgz-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/legacy/Nanotechnology_in_food_and_agriculture_-_web_resolution.pdf). Acesso em: 18 fe. 2015.

NANOACTION. Principios para la supervisión de las nanotecnologías y nanomateriales. NanoAction, 2007. Disponível em: [https://www.centerforfoodsafety.org/files/081403\\_icta\\_span\\_low\\_86441\\_82005.pdf](https://www.centerforfoodsafety.org/files/081403_icta_span_low_86441_82005.pdf). Acesso em: 17 jun. 2011.

OBERDÖRSTER, G.; OBERDÖRSTER, E.; OBERDÖRSTER, J. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultra fine particles. **Environmental Health Perspectives**, v. 113, p. 823-839, 2005.

OIT. **Promoción de la negociación colectiva**: convenio núm. 154: convenio sobre la negociación colectiva 1981 (núm. 154). Ginebra: ILO, 1981.

PLENTZ, F. Brazilian Nanotechnology Initiative. *In*: WORKSHOP NANOTECNOLOGIA E SOCIEDADE NA AMÉRICA LATINA. NANOTECNOLOGIA E TRABALHO, 3., 2013, Curitiba. [...]. Curitiba: UFPR, 2013.

RS&RAE. **Nanoscience and nanotechnologies**: opportunities and uncertainties. London: Royal Society & The Royal Academy of Engineering, 2004.

SARGENT, JR., J. F. **Nanotechnology**: a policy primer. 2013. Disponível em: <http://nanotech.lawbc.com/wp-content/uploads/sites/864/2016/07/00186783.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2015

SCHULTE, P. *et al.* Occupational risk management of engineered nanoparticles. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 5, n. 4, p. 239-249, 2008.

UNESCO. **The Ethics and politics of nanotechnology**. Unesco, 2006. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000145951>. Acesso em: 18 out. 2014.

ZÁYAGO LAU, E. *et al.* Researching risks of nanomaterials in Mexico. **Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste**, v. 20, n. 1, p. B4014001-B4014005, set. 2014.

ZAYAGO LAU, E. *et al.* **Empresas de nanotecnología en Argentina**. ed. 296. Argentina: Realidad Económica/IADE. Instituto Argentino para el Desarrollo Económico, 2015.

## *História da nanotecnologia no Irã*

*Ali Beitollahi, Ph.D*

A República Islâmica do Irã adotou uma abordagem bem ampla quanto ao desenvolvimento da nanotecnologia, com a finalidade de gerar riqueza com confiança nesta área emergente. Como resultado, o Irã tem se tornado capaz de alcançar a uma parte considerável dos mercados nacional e internacional. A entrada nesse segmento da nanotecnologia com ênfase em um modelo de desenvolvimento endógeno em ciência e tecnologia preparou o solo para a atualização deste objetivo. A nanotecnologia teve e terá um grande impacto em todas as indústrias em nível mundial com a improvisação de produtos já existentes e a criação de novos produtos.

A política de desenvolvimento em nanotecnologia no Irã teve início em 2001 e o Conselho de Iniciação em Nanotecnologia foi estabelecido em 2003, para garantir a coordenação e a sinergia entre as instituições e agências voltadas para o desenvolvimento em nanotecnologia. Em agosto de 2005, o documento “Estratégia Futura” (sobre o desenvolvimento estratégico em nanotecnologia no Irã no período 2005-2014) foi aprovado pelo governo.

Como resultado da implementação do documento sobre estratégia futura e os três outros documentos complementares, até 2015, o Irã pôde alcançar o sétimo lugar no mundo em nanociência; e, atualmente, existem mais de 29 mil pesquisadores neste segmento. Outras 157 empresas produzem 332 produtos e equipamentos relacionados com a nanotecnologia. Outras 60 empresas estão se engajando na difusão e no desenvolvimento de serviços envolvendo a nanotecnologia para que sejam introduzidos no mercado.

Após a implementação desse documento estratégico, desenvolveu-se o segundo documento (sobre o período 2015-2025) em nanotecnologia em 2015, e sua implementação já foi iniciada.

## *Programas nanotecnológicos, política e estratégias*

O desenvolvimento de uma política em nanotecnologia, bem como seu planejamento, está focado na realização e na aplicabilidade de um modelo. Desse modo, tenta oferecer programas estruturados que alcancem todas as redes de ciência e desenvolvimento de tecnologia rumo à comercialização. Além disso, os programas operacionais são atualizados continuamente, com base em contingências e solicitações em diferentes períodos.

Algumas iniciativas implementadas na última década foram:

- Network com mais de 75 laboratórios em pesquisa, com universidades e setor privado no formato de Laboratório Nanotecnológico. Nesta rede, mais de 1.280 serviços de laboratório foram oferecidos a pesquisadores e engenheiros;
- Armazenamento de mais de 100 incubadoras nanotecnológicas e parques tecnológicos;
- Armazenamento e desenvolvimento de provedores de serviços no mercado tecnológico;
- Redes de laboratórios envolvendo estudantes (Tavana network), com 66 laboratórios localizados nos institutos de ensino em todo o país;
- Suporte em propriedade intelectual;
- Estabelecimento de um comitê especialista em administração alimentar para a avaliação de produtos farmacêuticos, equipamentos médicos, cosméticos e produtos de higiene e bebidas.

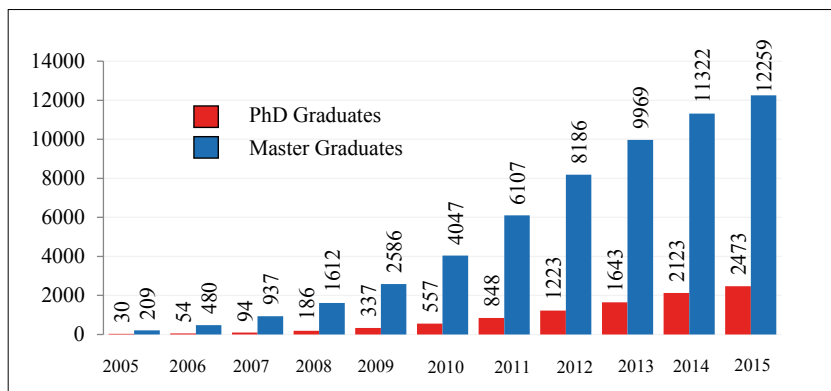
As prioridades em nanotecnologia no Irã são saúde, recursos hídricos, meio ambiente, energia e construção. São exemplos de nanotecnologias aplicadas nos setores mencionados:

- Tratamento do rio Karun para a produção de água potável;
- Remoção de metais pesados da água;
- Tratamento em plantas industriais no segmento da cana de açúcar;
- Produção de plantas industriais com filtro para melhorar a produtividade no setor elétrico;
- Produção de medicina nano, especialmente de retrovirais;
- Produção de materiais e equipamentos usados na indústria da construção, como concreto, tintas, canos e plásticos resistentes.

Capacidade e habilidades do Irã no campo da nanotecnologia: recursos humanos em Nanotecnologia

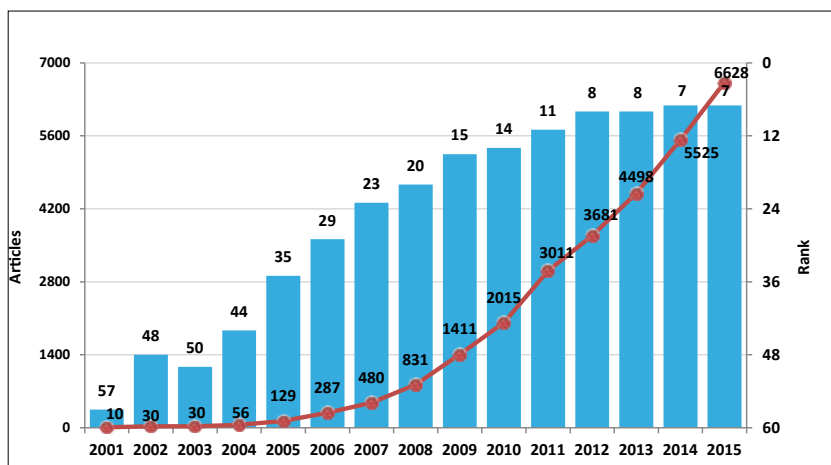
De acordo com um estudo na área de recursos humanos realizado em 2000 no país, os pesquisadores ativos no campo da nanotecnologia não publicaram mais do que 12 artigos anualmente. Com a formação do Conselho em Nanotecnologia no Irã e a implementação dos programas, especialmente os que ofereceram suporte em pesquisa, o setor da nanotecnologia testemunhou um aumento no número de pesquisadores em nanotecnologia (e mais de 29.000 artigos) e o envolvimento de 2.600 membros da academia engajados em nanotecnologia (Figura 1).





**Figura 1** Número de graduados em nanotecnologia anualmente

Na última década, 263 universidades ou centros de pesquisa atuaram no campo da nanotecnologia. As universidades e os institutos de pesquisa no país produziram mais de 3.300 teses e 16 mil dissertações no campo da nanotecnologia. A Figura 2 mostra o número de artigos publicados pelos pesquisadores iranianos no Web of Science ISI, com dados de 2001-2015.

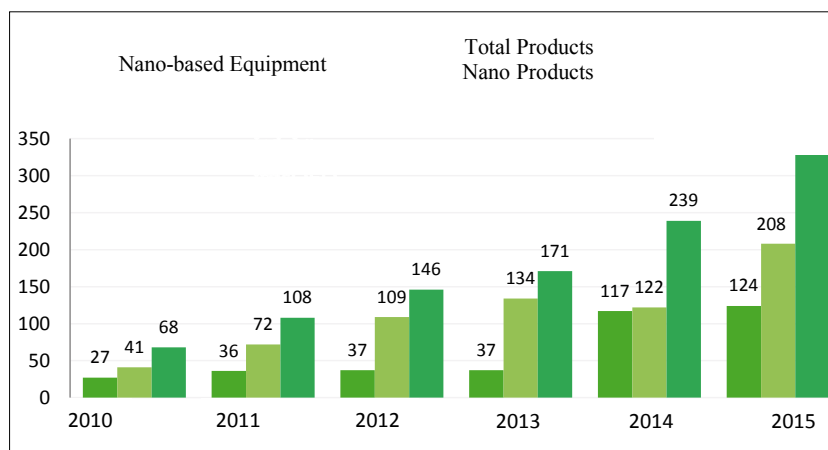


**Figura 2** Número e rank em artigos publicados no Irã

**Tabela 1** A classificação dos 30 países em nanociência tendo como base o número de artigos em 2015

Posição	País	Nº de artigos	%	Posição	País	Nº de artigos	%
1	China	47.308	75,33	16	Arábia Saudita	2.436	74,1
2	USA	23.349	66,16	17	Singapura	2.430	73,1
3	Índia	10.549	52,7	18	Polônia	2.242	6,1
4	Coreia do Sul	8.776	26,6	19	Brasil	2.197	57,1
5	Alemanha	8.127	8,5	20	Turquia	1.855	32,1
6	Japão	7.276	19,5	21	Suíça	1.817	3,1
7	Irã	6.628	73,4	22	Holanda	1.630	16,1
8	França	5.558	96,3	23	Malásia	1.629	16,1
9	Reino Unido	4.785	41,3	24	Suécia	1.566	12,1
10	Rússia	4.246	30,3	25	Egito	1.340	96,0
11	Espanha	4.049	89,2	26	Bélgica	1.332	95,0
12	Itália	4.047	89,2	27	México	1.236	88,0
13	Austrália	3.520	51,2	28	República Tcheca	1.101	79,0
14	Canadá	3.214	29,2	29	Portugal	1.022	73,0
15	Taiwan	3.174	26,2	30	Romênia	992	71,0

## Produtos nanotecnológicos



**Figura 3** Estatística de produtos nanotecnológicos.

## *Instituições e companhias em nanotecnologia*

### *Conselho de Iniciativa Nanotecnológica no Irã*

O Conselho de Inovação em Nanotecnologia do Irã (Iran Nanotechnology Innovation Council – INIC) é responsável por determinar e supervisionar a implementação de uma política geral para o desenvolvimento em nanotecnologia no país. A principal missão do Inic é facilitar que o Irã alcance um lugar adequado entre os 15 países avançados em nanotecnologia, bem como aumentar o desenvolvimento econômico nacional. Para facilitar o número de locais, criar mercados e impedir os obstáculos, o Inic vislumbra criar uma atividade no setor privado.

As tarefas do INIC são:

- Estabelecimento de metas, estratégias, políticas em escala macro e iniciativas nacionais para o desenvolvimento da nanotecnologia no país;
- Distribuição de tarefas aos membros do governo, determinação de missões para cada setor e coordenação em um cenário para um plano nacional a longo termo;

- Supervisão e alcance de metas e implementação de programas.

Várias instituições com estratégias definidas e planos de trabalho seguem as metas do Inic, conforme descritos nos próximos tópicos.

## ***Algumas instituições ativas em nanotecnologia***

### ***Instituto de Serviços para o Mercado de Tecnologia (Tech-Market Services Institute - Corridor)***

Foi criado para reduzir o tempo de comercialização e aumentar a taxa de comercialização de novas tecnologias, identificando os serviços necessários e facilitando sua criação. O Corridor inclui duas divisões:

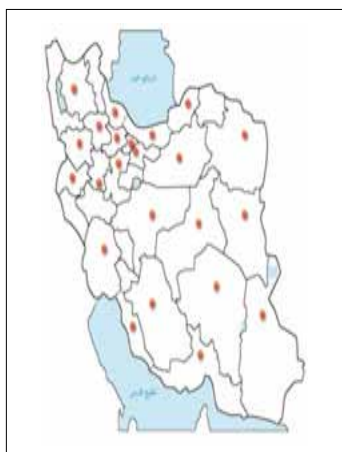
- Departamento de Avaliação de Produtos e Empresas em Nanotecnologia. É neste departamento em que se avalia a elegibilidade dos serviços oferecidos em nanotecnologia e produtos manufaturados. A avaliação dos produtos inclui a estabilidade da estrutura do nanomaterial, bem como suas propriedades, e garante a certificação em todas as demais missões do departamento;
- Departamento de Desenvolvimento de Serviços Comercializados (*Commercialization Service Development Department*). Neste setor, o objetivo é identificar o desenvolvimento dos serviços tecnológicos, expandir os links com consultores e instituições e monitorar a qualidade dos serviços oferecidos. Há também um cossetor chamado de *Tech-Export Services*, o qual auxilia as empresas no alcance de mercado internacional, oferecendo o desenvolvimento de serviços de exportação.

### ***Escritório de Patentes do Irã (Iran Patent Office)***

O Departamento de Propriedade Intelectual afiliado ao Conselho de Iniciativa em Nanotecnologia Iraniana iniciou suas atividades em 2005 e, desde 2014, atua como escritório de patentes. Tem assumido responsabilidades voltadas ao campo da propriedade intelectual nas áreas de ciência e tecnologia, sob supervisão da vice-presidência para ciência e tecnologia.

### ***Rede de laboratórios em nanotecnologia (Nanotechnology Laboratory Network)***

Foi criada para oferecer um melhor caminho nos serviços de laboratório, bem como aos pesquisadores e como melhor utilizar a capacidade desses laboratórios no país. No momento, 76 laboratórios com mais de 1.200 dispositivos estão operando como membros da rede. Seus sites podem ser visitados para mais informações. O número de usuários na rede vem aumentando nos últimos anos e alcançou mais de 130 mil em 2014.



**Figura 4** Distribuição geográfica da rede de laboratórios

## ***Comitê de Padronização Internacional em Nanotecnologia (Nanotechnology Standard and Safety- INSC)***

Reconhecer a importância e o papel da padronização no desenvolvimento e na comercialização da nanotecnologia, com a finalidade de preencher os objetivos do Programa Nacional de Nanotecnologia, inclui a criação e a melhoria da qualidade de vida das pessoas. Para isso, o INIC criou o INSC em 2006. O INSC consiste em três grupos especializados que devem servir como espelho da ISO-TC229. O objetivo do Insc baseia-se no “desenvolvimento responsável em nanotecnologia e no aproveitamento dos benefícios ao proteger a saúde humana e meio ambiente”.

As principais atividades do INSC são:

- Desenvolvimento de 46 padrões nacionais em nanotecnologia;
- Liderança em três padrões internacionais publicados pela ISO-TC229 e outros quatro em andamento;
- Estabelecimento de network (INSN);
- Implementação de um Sistema Nacional em Nanometrologia;
- Promoção e treinamento em padronização em nanotecnologia e nanossecurança;
- Estabelecimento de padronização por meio de comitês no Ministério da Saúde e do Ministério da Agricultura.

## ***Rede Iraniana de Segurança em Nanotecnologia (Iran Nanotechnology Safety Network)***

Com foco em saúde, segurança e meio ambiente no campo da nanotecnologia, e como modo de oferecer uma plataforma colaborativa aos pesquisadores e às instituições envolvidas, a Rede Iraniana de Segurança em Nanotecnologia foi fundada em 2012 para envolver pesquisadores e atividades relacionadas a nanosseguurança na estrutura de programas da rede.<sup>19</sup> No momento, o Irã também é membro da Rede Asiática de Nanosseguurança.

## ***Comitê Estratégico Conjunto de Nanometrologia (Joint Nanometrology Strategic Committee)***

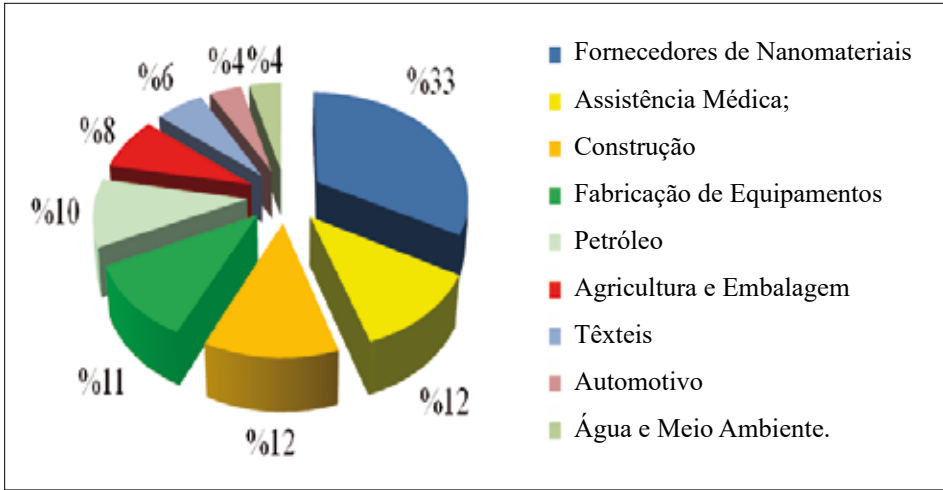
Este comitê foi criado em colaboração com o Instituto de Padronização e Pesquisa Industrial do Irã - Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). Quanto a isso, o Plano Nacional de Nanometrologia foi publicado junto com o Isiri. A proposta do Sistema Nacional de Nanometrologia foi implementado com a finalidade de institucionalizar o desenvolvimento dinâmico e contínuo da nanometrologia em nanociência, tecnologia e indústria e alcançar credibilidade internacional em medidas nano.

## ***Companhias ativas no campo da nanotecnologia***

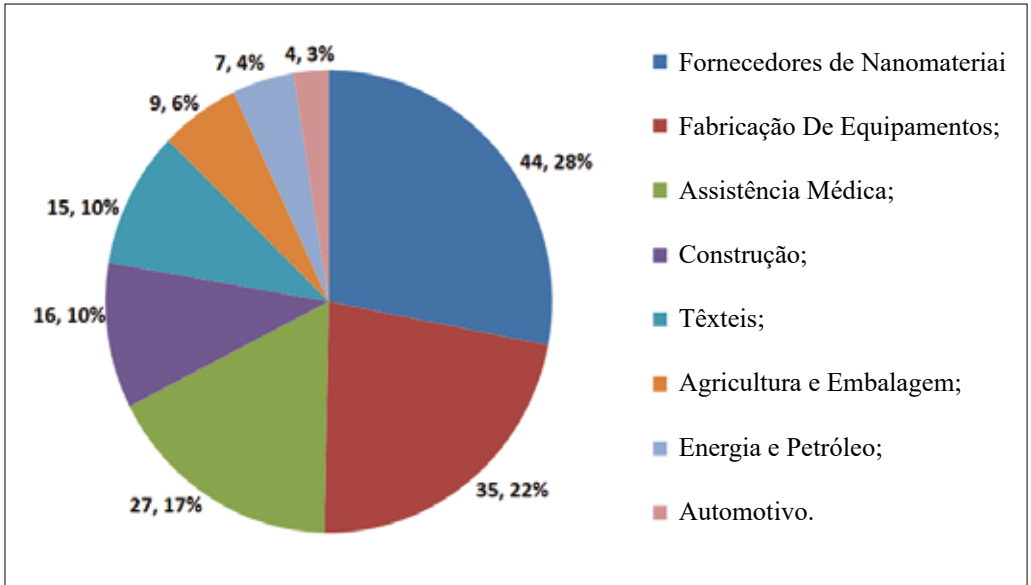
Existem mais de 100 empresas especializadas em nanotecnologia criadas recentemente e outras 150 voltadas à manufatura de produtos nanotecnológicos. As Figuras 5 e 6 mostram as áreas de atividades.

---

<sup>19</sup> Mais informações podem ser obtidas em: [www.nanosafety.ir](http://www.nanosafety.ir)



**Figura 5** Startups em nanotecnologia



**Figura 6** Companhias de manufatura nanotecnológica



## *Cooperação internacional*

A participação ativa de companhias nanotecnológicas do Irã e o aumento da exposição internacional tem pavimentado o terreno para um desenvolvimento tecnológico e a interação comercial com parceiros do mundo todo. Atualmente, muitas companhias em nanotecnologia no Irã estão exportando sua expertise para outros países. Por outro lado, a presença ativa do país em networks locais e regionais, tal como o Asia Nano Forum (ANF), tem tornado possível ao Irã colaborar com a comunidade de nanotecnologia internacional com a política de setores privados.

Nos altos níveis de tomada de decisão, referimo-nos aos acordos de cooperação bilateral com a China, a Tailândia, a Coreia do Sul e a Rússia em áreas como nanoeducação, padrões, certificação, pesquisa e desenvolvimento, bem como interações comerciais. A comunidade iraniana em nanotecnologia, liderada pelo Inic, pretende engajar-se em iniciativas bilaterais e multilaterais nas seguintes áreas:

- Condução de cooperação internacional, no campo de ciência, educação, tecnologia e níveis comerciais, bem como na nanopadronização e tomada de decisão;
- Cooperar com o treinamento em nanotecnologia em diversos níveis, pesquisa e desenvolvimento, intercâmbio de pesquisadores, troca de conhecimentos e experiências, padrões de desenvolvimento, transferência tecnológica e investimento junto com empresas e instituições internacionais;
- Criação de acordos de cooperação mútua para certificar os produtos nanotecnológicos e facilitar sua comercialização.



Capítulo XII

**NANOTECNOLOGIAS  
E MEIO AMBIENTE**



## *Apresentação*

*Mey Rose de Mello Pereira Rink*

As principais universidades do mundo têm centros de pesquisa dedicados ao estudo dos riscos que podem extinguir a vida humana e, em como preveni-los. Na Universidade de Oxford foi fundado em 2005 o Instituto do Futuro da Humanidade, um interdisciplinar centro de pesquisas de sua Faculdade de Filosofia. Em 2012, a Universidade de Cambridge criou o Centro para o Estudo do Risco Existencial, com pesquisas nas áreas de riscos biológicos e ambientais, riscos da inteligência artificial e em como administrar possíveis riscos tecnológicos<sup>20</sup>.

Para abordar os possíveis impactos da nanotecnologia no meio ambiente, não poderíamos deixar de apontar neste capítulo a importância dos estudos desenvolvidos pelas universidades citadas, que avaliam se os avanços tecnológicos caminham na direção certa, se favorecem os seres humanos e toda a vida no planeta, e, ainda, o que fazer caso se apresentem cenários que ameacem a sobrevivência de na Terra. Diversos pesquisadores reúnem-se regularmente para estudar e inventar maneiras de combater o aquecimento global, a não proliferação de armas biológicas e nucleares. E, quanto ao nosso foco de interesse, existem diversos grupos estudando as maneiras seguras de desenvolver a nanotecnologia e a inteligência artificial.

A Terra existe há 4,6 bilhões de anos, e os primeiros sinais de vida surgiram há 3,5 bilhões, quando bactérias primitivas começaram a se formar e a se modificar, surgindo numerosas espécies de seres vivos que transformaram o nosso estéril planeta em um local cheio de vida. Há 200 mil anos surgiu o *Homo sapiens* que, ao longo do tempo, construiu grandes civilizações. Com o avanço incessante de sua tecnologia, urbanizou boa parte do planeta, tendo como consequência a poluição ambiental, que vem destruindo parte da flora e da fauna, gerando uma

---

<sup>20</sup> Fonte: <https://veja.abril.com.br/ciencia/o-mundo-nao-vai-acabar-em-2012-mas-o-que-vem-depois/>

grande preocupação quanto à preservação da vida para as futuras gerações. No cenário atual, a nanotecnologia poderá ser a salvação ou a destruição do nosso mundo. Apenas a comunidade científica e o Estado decidem sobre o desenvolvimento da nanotecnologia, tendo como principal foco a ciência da produção, com a quase completa exclusão da ciência de impactos, não havendo controle social ou participação pública nestas decisões.

## ***Possíveis impactos de nanotecnologia no meio ambiente***

*Mey Rose de Mello Pereira Rink*

A vida inteligente de um planeta alcança a maioria no momento em que compreende, pela primeira vez, a razão de sua própria existência, ou seja, quando descobrem a evolução. É o que nos diz Richard Dawkins em *O gene egoísta* (2010). Ele aponta diretamente para o fato de que somos máquinas de sobrevivência, e que este “nós” não se restringe somente às pessoas, mas se aplica a todos os animais, plantas, bactérias e vírus com os quais dividimos o planeta em igualdade de condição. Somos todos máquinas de sobrevivência para o mesmo tipo de replicador, o DNA, com 2 nanômetros de espessura e vários de comprimento, em forma de fita, o qual somos capazes de manipular utilizando-se da tecnologia atual existente, interferindo diretamente em mais de 3,5 bilhões de anos de evolução, da sopa cósmica aos dias de hoje.

Segundo Dawkins (2010), o DNA vive no interior do nosso corpo, não estando concentrado em um lugar particular, mas distribuído ao longo de, aproximadamente, 1 quatrilhão de células, para a nossa espécie. Deixando-se de lado algumas exceções, cada uma dessas células tem uma cópia exata do DNA pertinente a cada indivíduo existente. A combinação de genes pode ser efêmera, porém os genes em si são potencialmente muito duradouros. Seus caminhos se cruzam e voltam a se cruzar ao longo das gerações. Vale lembrar que um gene é definido como qualquer porção de material cromossômico que, potencialmente, dura um número suficiente de gerações para servir como unidade de seleção natural. Resumindo, pode-se afirmar que um gene é um replicador que produz cópias de alta fidelidade.

É necessário um pool gênico, advindo da seleção natural, para que se indique uma característica genética determinante em uma espécie. São estas características que garantem sua sobrevivência em um ambiente específico. Salienta-se que, muitas vezes, ela deve sofrer mutações para sobreviver a situações adversas que ocorram no lugar em que vivem ao longo do tempo. As espécies só se reproduzem quando existe um ambiente propício para tal, normalmente onde exista comida

suficiente e poucos predadores. Quando o ambiente é totalmente desfavorável para a reprodução, pode haver mutações, ou recombinações de um pool gênico (DAWKINS, 2010).

Diante do cenário descrito anteriormente, a pergunta que não posso deixar de formular é: hoje, cerca de 3,5 bilhões de anos depois do início da vida aqui na Terra, o que acontecerá aos seres vivos quando suas características genéticas forem alteradas pelo próprio homem diretamente ou acidentalmente, contrariando muitas vezes o que foi determinado pela seleção natural ao longo de milhares de anos? Nick Bostrom, diretor do Instituto do Futuro da Humanidade da Universidade de Oxford, no Reino Unido, diz que “existe um gargalo na história da humanidade. A condição humana irá mudar. Pode ser que terminemos em uma catástrofe ou que sejamos transformados ao assumir mais controle sobre a nossa biologia. Não é ficção científica, doutrina religiosa ou conversa de bar” (COUGHLAN, 2013). Cita, ainda, que já sobrevivemos a doenças, fome, enchentes, predadores, perseguições, terremotos, mudanças ambientais, mas questiona se sobreviveremos a experimentos em áreas como biologia sintética, nanotecnologia, inteligência artificial e inteligência maquinal que prometem grandes benefícios médicos, mas se tememos a ocorrência de efeitos não previstos e não vivenciados anteriormente (COUGHLAN, 2013).

Para que possamos compreender os possíveis impactos da nanotecnologia no meio ambiente, teremos de conhecer inicialmente alguns conceitos, como o de nanobiotecnologia, a aplicação da nanotecnologia nas ciências da vida. Como é uma ciência recente, os riscos para a saúde humana e o meio ambiente ainda não estão suficientemente avaliados. As partículas, por pertencerem a uma escala nanométrica, podem atravessar poros e se acumular em determinadas células, sendo desconhecidos os efeitos de uma longa permanência destas nanopartículas no organismo. Tanto os metais pesados quanto as dioxinas caracterizam-se por serem bioacumuláveis, um processo pelo qual substâncias ou compostos químicos são absorvidas sem que se consiga eliminá-los. O processo pode ocorrer de modo direto, quando as substâncias são assimiladas a partir do meio ambiente (solo, sedimento, água), ou indireto (pela ingestão de alimentos que contêm essas substâncias). Esses processos frequentemente ocorrem de maneira simultânea, em especial em ambientes aquáticos. Desta forma, mesmo pequenas quantidades ao longo do tempo podem resultar em riscos gravíssimos para a saúde.

Isso se refere aos materiais com seu tamanho em escala natural, sendo que, ao que concerne aos nanomateriais, não existem avaliações que nos indique exatamente os efeitos sobre o meio ambiente em geral, a flora e a fauna de todo o planeta.

Devemos levar em consideração ainda o fenômeno da biomagnificação ou magnificação trófica, que ocorre quando há acúmulo progressivo de substâncias de um nível trófico para outro ao longo da teia alimentar. Assim, os predadores de topo têm maiores concentrações dessas substâncias do que suas presas. Chamamos a atenção para o fato de que o ser humano está no topo dessa cadeia.

Um estudo, conduzido pela doutora Cyndee Gruden, da Universidade de Ohio, focou em apenas um tipo de nanopartícula, a de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), amplamente utilizada em cosméticos e outros produtos de uso pessoal, em janelas autolimpantes e em bactericidas em geral. As nanopartículas de dióxido de titânio bloqueiam os raios ultravioleta da luz solar, sendo eficazes na melhoria das funções desses produtos, mas, uma vez que se lave a pele ou o material onde foram aplicadas, elas seguem o mesmo caminho de todas as águas servidas, indo parar no meio ambiente. Usando a bactéria *Escherichia coli* (*E. coli*) como teste, a doutora Gruden descobriu grandes reduções na sobrevivência do microrganismo em amostras expostas a concentrações mínimas das nanopartículas de dióxido de titânio, por períodos de menos de uma hora, sendo que a rapidez do impacto a surpreendeu. A morte das bactérias deu-se porque as nanopartículas danificam a membrana externa dos microrganismos (NANOPARTICULAS..., 2009).

Os pesquisadores sabem muito pouco acerca de como a liberação de mais de 2 milhões de toneladas de nanopartículas produzidas a cada ano afetarão os organismos no meio ambiente. Um novo estudo publicado no *Environmental Science & Technology* dos Estados Unidos relatou que as minhocas (*Eisenia fetida*) podem ingerir nanopartículas de ouro e acumulá-las em seus tecidos, uma descoberta com implicações significativas para as cadeias alimentares. Para descobrir o que estava acontecendo, a equipe introduziu minhocas, pelo fato de esta espécie ficar próxima ao fundo da cadeia alimentar, em um solo artificial repleto de nanopartículas de ouro. Elas são estáveis, insolúveis e facilmente detectáveis. Enfim, são facilmente rastreáveis. Depois de 28 dias, os pesquisadores investigaram os tecidos das minhocas em busca da ingestão



de nanopartículas de ouro, as quais foram encontradas distribuídas por todo o seu corpo e em maior concentração em seus intestinos. Embora as nanopartículas de ouro não afetassem significativamente a mortalidade das minhocas, elas se reproduziram até 90% menos.

Hoje existe um grande número de estudos sobre diversas espécies animais expostos a nanopartículas. Um deles constatou que a exposição de embriões de “paulistinha” ou peixe-zebra (*Danio rerio*) a nanotubos de carbono ocasionou uma diminuição da procriação dos peixes. Há uma séria falta de conhecimento sobre os aspectos de segurança desta tecnologia. É bem conhecido, por exemplo, que os efeitos toxicológicos das partículas ultrafinas são bem mais severos conforme diminui seu tamanho, mas se conhece pouco sobre o mecanismo pelo qual as partículas extremamente pequenas migram para dentro do corpo e se acumulam em tecidos e órgãos. Estudos epidemiológicos mostram uma correlação significativa entre a mortalidade devido a doenças cardiorrespiratórias e à concentração de partículas de dimensões nanométricas presentes em situações de poluição do ar.

Têxteis tratados com nanopartículas de prata têm sido usados para vários tipos de propósitos: têxteis médicos (roupa especial para os que sofrem de neurodermite, vestimentas para ambiente cirúrgico, bandagens); roupas esportivas e de lazer; roupas de trabalho para proteção; têxteis domésticos (por exemplo, cobertores e cortinas) e tecidos técnicos (filtros, panos de limpeza etc.). As nanopartículas de prata, quando são produzidas, ou esfregadas durante o uso, ou durante a lavagem, são eliminadas, contaminando os rios, lagos e mares, e seu efeito antibactericida afeta muitos processos no meio ambiente.

O lodo dos esgotos, que fica depositado nas estações de tratamento, é misturado aos solos utilizados para agricultura. São milhões de toneladas de lama fertilizando a terra agricultável. Nele, encontram-se nanopartículas de prata, óxido de zinco e dióxido de titânio, entretanto os dados sobre os danos causados por estas substâncias ao meio ambiente ainda são inconclusivos.

Especialistas da Universidade de Paris alertam que “as nanopartículas se infiltram de modo inédito no corpo humano e em outros organismos vivos, obrigando profissionais e consumidores a revisarem as medidas de prevenção sanitárias” (ESPECIALISTAS..., 2008). Embora não haja ultrapassagem da barreira cutânea, quando saudável, isso é possível, por exemplo, em caso de insolação. Entretanto, quando se trata de proporções nano, esta barreira é ultrapassada: “A capacidade destes novos materiais de passar dos pulmões ao sangue e depois aos outros órgãos continua sendo pouco conhecida [e ao que parece] em escassas doses e em longo prazo, [obtem-se] uma alteração mascarada do DNA” (ESPECIALISTAS..., 2008).

Um dos defensores do Centro de Estudos de Risco Existencial, Martin Rees, ex-presidente da Sociedade Real de Astronomia Britânica, afirma que “este é o primeiro século na história mundial em que as maiores ameaças provêm da humanidade” (COUGHLAN, 2013). Diz que existe uma perspectiva alarmante com relação ao nosso futuro e, segundo ele, a chance que teremos para sobreviver ao século XXI não passa de 50%. O risco vem dos próprios avanços científicos e tecnológicos que avaliamos como sendo indispensáveis ao nosso desenvolvimento, como a nanotecnologia, a engenharia genética e a tecnologia de comunicação (REES, 2005). Em seu livro *Hora final*, ele apresenta um quadro assustador que pretende mostrar aos cientistas e à sociedade a imensa responsabilidade que recai sobre todos nós, em uma tentativa de tentar evitar que o erro, o terror ou o desastre ambiental ameacem nosso futuro. Ele classifica os riscos conforme sua localidade e sua intensidade. Existem eventos locais e toleráveis, como seria o caso de um intenso apagão atingindo todo o continente americano. Evidentemente, esse tipo de desastre é preocupante e pode levar uma parte da humanidade de volta à era pré-industrial, porém mais perigosos são os eventos globais e terminais, ou seja, os eventos de risco existencial, pois levariam à extinção do *Homo sapiens*.



## *Referências*

BOSTROM, N. **Superinteligência**: caminhos, perigos e estratégias. Oxford: Darkside, 2014.

COUGHLAN, S. Instituto **britânico alerta para riscos de extinção da raça humana**. BBC News/Brasil, 2013. Disponível em: [https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/04/130424\\_extincao\\_estudo\\_bg](https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/04/130424_extincao_estudo_bg). Acesso em 18 jun. 2019.

DAWKINS, R. **O gene egoísta**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

ELOLA, J. O futuro da humanidade em suas mãos. **El País**, 14 fev. 2016. Disponível em: [https://brasil.elpais.com/brasil/2016/02/12/ciencia/1455304552\\_817289.html](https://brasil.elpais.com/brasil/2016/02/12/ciencia/1455304552_817289.html). Acesso em: 28 maio 2018.

ESPECIALISTAS alertam para riscos das nanopartículas. **Terra Notícias**, 08 fev. 2008. Disponível em: <https://www.rainhamaria.com.br/Pagina/3820/Especialistas-alertam-para-riscos-das-nanoparticulas>. Acesso em: 18 jun. 2019.

MARCA, P. D. Nanotechnology: opportunities and risks for humans and the environment, 2006. *In*: SEMINÁRIO IMPACTOS DA NANOTECNOLOGIA SOBRE A SAÚDE DOS TRABALHADORES E SOBRE O MEIO AMBIENTE, 2008, Campinas. [...]. Campinas: Unicamp, 2008.

NANOPARTICULAS presentes em produtos causam danos ao meio ambiente. **Inovação tecnológica**, 03 abr. 2009. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=nanoparticulas-presentes-em-produtos-causam-danos-ao-meio-ambiente&id=010125090403#.YVtsFJrMJPY>. Acesso em: 28 maio 2018.

REES, M. **Hora final**: alerta de um cientista: o desastre ambiental ameaça o futuro da humanidade. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

ROSA, G. O mundo não vai acabar em 2012. Mas o que vem depois? **Revista Veja**, maio 2016. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/ciencia/o-mundo-nao-vai-acabar-em-2012-mas-o-que-vem-depois/>. Acesso em: 28 maio 2018.

UNRINE, J. M. *et al.* Evidence for bioavailability of Au nanoparticles from soil and biodistribution within earthworms (*Eisenia fetida*). **Environ. Sci. Technol.**, v. 44, n. 21, p. 8308-8313, 2010..

Capítulo XIII

**NANOTECNOLOGIAS  
E A SEGURANÇA E SAÚDE  
NO TRABALHO**



## *Apresentação*

*Luís Renato Balbão Andrade*

Para finalizar este volume, este capítulo reúne textos que podem oferecer algumas indicações pragmáticas para abordar os possíveis riscos advindos da manipulação dos nanomateriais. Neste cenário, o texto “Propostas para gestão de riscos ocupacionais em nanotecnologias” apresenta alguns dos principais guias disponíveis na literatura para a gestão de riscos em atividades de nanotecnologia.

Na sequência, são explorados dois aspectos fundamentais para a condução desta gestão de riscos: o princípio da precaução, abordado no texto “O princípio da precaução aplicado aos nanomateriais”; e a participação dos trabalhadores, explorada no texto “Participação dos trabalhadores na gestão dos riscos das nanotecnologias”. Tendo em conta tais conceitos e as propostas anteriormente mencionadas, Luís Renato Andrade e Fernando Amaral apresentam “Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia (S-SST/LabNano)”.

Já José Renato Schmidt expõe a aplicação prática desta sistemática por meio do texto “Avaliação de riscos no desenvolvimento de nanotecnologia em laboratório de pesquisa: estudo de caso”. Já Luís Carlos Oliveira oferece uma instigante leitura destas questões sob o ponto de vista dos trabalhadores, os quais o autor representa por conta de sua atuação no meio sindical. Os autores acreditam que os interessados poderão desfrutar de uma ótima leitura!





# ***Propostas para gestão de riscos ocupacionais em nanotecnologias<sup>21</sup>***

*Luís Renato Balbão Andrade; Fernando Gonçalves Amaral*

## ***Introdução***

A manipulação de nanomateriais apresenta importantes desafios para a gestão de riscos. Se por um lado as nanotecnologias estão cada vez mais presentes em pesquisas e na produção de novos materiais, por outro faltam dados sobre quais são os impactos destes novos materiais sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente. Neste cenário de incertezas, uma série de esforços tem sido feita para mitigar as adversidades e oferecer diretrizes para a gestão dos riscos à saúde associados aos nanomateriais.

Brouwer (2012) aponta que as dificuldades em trabalhar com os nanomateriais estão relacionadas às métricas a serem utilizadas, tanto na caracterização do perigo quanto da exposição. Este autor baseou-se, essencialmente, em propostas que empregaram a metodologia control banding (CB), que consiste em uma abordagem derivada da iniciativa do *UK Health and Safety Executive* de 1999, intitulada “*Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials Model*”.

A metodologia de CB foi desenvolvida como uma ferramenta pragmática para realizar a gestão de riscos em situações envolvendo substâncias químicas potencialmente perigosas, em que praticamente não há dados sobre a toxicidade (BROUWER, 2012). Neste tipo de enfoque, os níveis de risco (faixa) são determinados em função da exposição e do perigo, classificando a situação em foco em um determinado grupo (faixa ou banda). Dessa maneira, para cada faixa haverá ações específicas para o controle dos riscos. Trata-se, então, de uma meto-

---

<sup>21</sup> Texto publicado pelos autores em: ANDRADE, L. R. B.; AMARAL, F. G. Gestão de riscos em atividades de nanotecnologia: propostas e ações. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 38., 2013, Salvador. **Anais eletrônicos**...Salvador: Engep, 2013. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013\\_TN\\_STO\\_180\\_028\\_21932.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STO_180_028_21932.pdf). Acesso em: 18 jun. 2019.

dologia totalmente qualitativa em que o risco não é medido, mas, sim, avaliado, prestando-se para condições nas quais exista muita incerteza, como é o caso dos impactos dos nanomateriais sobre a saúde humana e sobre o meio ambiente. Assim, o objetivo deste artigo é apresentar as metodologias existentes para a abordagem dos riscos ocupacionais relacionados com a manipulação de nanomateriais, indicando suas características, suas estratégias e seus princípios norteadores.

## *Metodologia*

Foram analisados 17 trabalhos disponíveis na literatura especializada cujo objetivo comum e genérico é a gestão dos riscos de segurança e saúde no trabalho, decorrentes dos nanomateriais. Eles foram categorizados inicialmente em três grupos, segundo seu enfoque principal: estratégico, que define de maneira geral “o que fazer” (a estratégia) e não “como fazer” (as ações); metodológico, que fornece, além de estratégias, um conjunto prático de medidas para o controle dos riscos advindos dos nanomateriais; e pragmático, que define prioritariamente “como realizar” (as ações). Neste último grupo, podem ser citadas as ferramentas apoiadas pelo “enfoque de controle de bandas ou faixas” – *Control Banding Approaches* (BROUWER, 2012).

Estratégias e ações foram agrupadas segundo os princípios básicos indicados para a supervisão das nanotecnologias, sendo estes definidos pelo *International Center for Technology Assessment* (ICTA, 2007). Os princípios são mencionados e descritos como sendo aqueles necessários à regulação de atividades com nanomateriais, como: princípio da precaução; regulação nano específica compulsória; saúde e segurança do público e dos trabalhadores; proteção ambiental; transparência; participação do público; inclusão de amplos impactos; e responsabilidade do produtor.

Deve-se ressaltar que as estratégias foram agrupadas segundo os princípios que atendem mais diretamente sem, contudo, representar ou dar conta da abrangência do princípio proposto. Dessa forma, os princípios em questão são, em geral, bem mais abrangentes que o conjunto das estratégias que lhe foram atribuídas. Alguns dos princípios citados não são alcançados pelas propostas de gestão de risco, já que escapam

ao escopo delas, como é o caso do princípio por uma regulação obrigatória nano específica. Da mesma maneira, nenhuma das propostas inclui estratégias ou ações para amplos impactos (éticos, socioeconômicos etc.), tendo em conta que estes devem ser previstos ou abordados com outras ferramentas de maior alcance.

## Resultados

De acordo com a metodologia explicitada, o **Quadro 1** apresenta um comparativo com as principais características das propostas e ferramentas analisadas. Cada ferramenta apresenta uma letra entre colchetes que é sua referência no referido quadro.

**Quadro 1** Descrição e comparação entre as propostas

Referência da proposta analisada no texto	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Agrupamento com relação à metodologia CB	Não inclui CB				Inclui CB				Apenas CB								
Tipo de enfoque																	
Enfoque estratégico (apenas estratégias)	√	√	√	√													
Enfoque metodológico (estratégias e ações)					√	√	√	√	√	√	√						
Enfoque pragmático (apenas ações) ferramenta CB												√	√	√	√	√	√
Tipo de avaliação																	
Avaliação de risco apenas qualitativa	√	√	√	√	√					√	√	√			√		√
Avaliação de risco qualitativa e quantitativa						√	√	√	√				√	√		√	

(...)

(...)

Princípios envolvidos, estratégias e ações associadas																			
Princípio da transparência																			
Estratégias de implementação de políticas		&		&															
	Política escrita, clara e transparente										\$	↔							↔
	Política desenvolvida com a participação de todos							↔	↔		\$								
Princípio da participação do público e da responsabilidade do produtor																			
Estratégias focadas na organização		&		&															
	Responsabilidade por prestar contas							↔			\$	↔							\$
	Competência e capacitação					↔	\$	\$	\$	\$			↔						\$
	Documentação						\$	\$	\$		\$	\$		\$					\$
	Comunicação ampla							↔			\$								\$
Princípio da precaução																			
Estratégia de identificação do perigo		&	&	&	&														
	Caracterização dos nanomateriais						\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$

(...)

(...)

Princípio de proteção à saúde e segurança para o público e trabalhadores e proteção ambiental																		
Estratégia de avaliação da exposição		&	&	&	&													
	Tipo de exposição (inalação, dérmica, ingestão)					\$	\$	\$	\$	\$	↔	↔	\$		↔	↔	↔	
	Monitoração de indicadores biológicos						\$	\$	\$	\$			↔	\$			\$	
	Monitoração ocupacional e ambiental						\$	\$	\$	\$	↔			↔	\$		\$	↔
	Pessoal envolvido e possíveis exposições						\$	\$	\$	↔	\$		\$		\$		\$	
Estratégia de avaliação da toxicidade		&	&	&	&													
	Estudos de toxicidade			\$	\$													
	Determinação dos limites seguros de exposição			\$	\$													
Estratégia de caracterização do risco		&	&	&	&													
	Cálculo de risco							\$							↔	\$		
	Extrapolação de modelos							\$			↔	↔				↔		
	Hierarquização dos riscos					\$	\$	↔	↔	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
Estratégia de gestão do risco		&		&	&													
	Medidas técnicas					\$	\$	↔	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	
	Medidas organizacionais					\$	\$	↔	\$	\$	\$	↔		\$	\$	\$	\$	

(...)

(...)

Rotulagem/armazenamento					\$	\$		↔	\$	\$						\$
Limpeza/derramamento					\$			↔	↔	↔			↔			\$
Transporte					\$			↔		\$			↔			\$
Destinação/eliminação de resíduos					\$	\$				\$			↔			\$
Equipamentos de proteção individual					\$	\$	↔	\$	\$	\$			\$	\$		\$
Risco de fogo ou explosão com nanopartículas						\$		\$	\$	\$						
Estratégia de acompanhamento ou vigilância	&		&													
Monitoração						\$		\$	\$	\$	\$		↔		\$	\$
Investigação (acidentes e incidentes)						\$		\$		\$	↔					
Auditoria/revisão						\$	\$	\$	\$	\$	\$					\$
Análise crítica da administração								\$	↔	\$						↔
Estratégia de melhoria			&													
Ação preventiva e ou corretiva						\$		\$	↔	\$	\$					\$
Melhoria contínua						\$		\$	↔	\$	\$		↔			\$

√ = pertence à categoria & = estratégia referida \$ = ação referida ↔ = ação com referência implícita ou genérica

Nota: para as propostas estratégicas, indica-se apenas a presença da estratégia, exceto para a avaliação de toxicidade, em que também se indicam algumas ações.

## ***Abordagens estratégicas (quatro propostas)***

Entre as abordagens estratégicas, é possível citar as de: [A] Tyshenco e Krewski (2008), “*A risk management framework for the regulation of nanomaterials*”; [B] Tsuji et. al. (2006), “*Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part IV: risk assessment of nanoparticles*”; [C] “*The nano risk framework*” (DUPONT; ENVIRONMENTAL DEFENSE 2007); [D] (ANTON, 2009), “*Evaluación de Riesgos de las Nanopartículas Artificiales – Erna*”. As abordagens estratégicas têm um caráter genérico, normalmente incluindo a indicação para a formulação de políticas públicas sobre os riscos advindos do uso de nanomateriais. Seu foco recai sobre as agências de regulação ou órgãos governamentais envolvidos com o tema.

## ***Abordagens metodológicas (sete propostas)***

As três primeiras (E, F e G) não incluem o enfoque CB. As quatro demais deste grupo incluem esta ferramenta. As propostas metodológicas sem inclusão de CB são: [E] AMOABEDINY et al. (2009), “*Guidelines for Safe handling, use and disposal of nanoparticles*”; [F] “*British Standard-BSI safe handling nanomaterials – PD 6699-2:2007*” (BSI, 2007); [G] “*Guidance for handling and use of nanomaterials at the workplace*” (BAμA; VCI, 2007). Como exemplos de propostas metodológicas que incluem a metodologia CB, pode-se indicar: [H] “*Best practices guide to synthetic nanoparticle risk management*” (OSTEGUY et al., 2009); [I] “*General safe practices for working with engineered nanomaterials in research laboratories*” (NIOSH, 2012); [J] “*Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia*” (ANDRADE, 2013); e [K] “*ANSES control banding tool for nanoparticles*” (ANSES, 2012).

Estes documentos, embora apresentem ações específicas para o controle de riscos ocupacionais na manipulação de nanomateriais, não se limitam a isto. Podem incluir ações mais abrangentes para a segurança e saúde no trabalho, mesmo que seu foco seja específico, como no caso de laboratórios de pesquisa.



## ***Abordagens pragmáticas tipo “control banding – CB” (seis propostas)***

As seis abordagens pragmáticas são: [L] PAIK et. al. (2008); [M] o guia da União Europeia (UE, 2012), “*Working Safely with engineered nanomaterials and nanoproducts – a guide for employers and employees*”; [N] *Stoffenmanager Nano 1.0* (DUUREN-STUURMAN et al., 2012); [O] “*Precautionary matrix*” (HÖCK et al., 2011); [P] “*Nano-safer*” (2016); e [Q] “*GoodNanoGuide*” (2016). As abordagens pragmáticas se apresentam com uma receita simples e adaptada à questão prática de tomar ações de controle de riscos em atividades que envolvam os nanomateriais. Desta forma, elas não são abrangentes e por si só não podem oferecer um controle efetivo dos riscos envolvidos, apenas aqueles diretamente associados aos nanomateriais em si e à operação ou ao processo sob análise. Em que pese esta limitação, constituem-se em uma orientação simples quanto aos cuidados fretos aos riscos ocupacionais postos por estas novas tecnologias.

### ***Conclusão***

O conjunto de 17 propostas analisadas não converge para uma abordagem de consenso, ainda que a base teórica de todas elas seja a mesma, como explicita o relatório da Anses (2010). De maneira geral, todas fazem referência ao processo de identificação dos perigos, avaliação da exposição e definição dos riscos, passando à eliminação, à substituição ou ao controle deles por meio de medidas técnicas ou organizacionais.

A solubilidade, a labilidade e a pulverulência, além da forma das nanopartículas, são fatores importantes mais do que a quantidade de material envolvido. Isso indica que, para os nanomateriais, outras métricas devem ser adotadas. Ainda que não haja consenso sobre quais métricas devem ser utilizadas para caracterizar estes riscos, sobressai entre os documentos analisados a adoção do princípio da precaução e do enfoque de CB como ferramentas e instrumentos úteis para a gestão de riscos com nanomateriais.

As propostas também apontam para a desconstrução da noção de que, diante da falta de informações e da incerteza quanto aos efeitos das nanopartículas sobre a saúde, nada pode ser feito. Pelo contrário, as várias abordagens mostram que existem muitas ações possíveis de serem adotadas para que, diante do estado da arte do conhecimento atual, se possa observar o princípio da precaução na busca da segurança e da saúde ocupacionais.



## Referências

AMOABEDINY, G. H. *et al.* Guidelines for safe handling, use and disposal of nanoparticles. **Journal of Physics: Conference series**, v. 170, n. 1, 2009. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/170/1/012037/pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

ANDRADE, L. R. B. **Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia**. 2013. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ANSES. French agency for food, environmental and occupational health & safety. **Development of a specific control banding tool for nanomaterials**. Report. 2010. Disponível em: <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2008sa-0407RaEN.pdf>. Acesso em: 5 set. 2012.

ANTON, J. M. N. Las NA y la salud: la nanotoxicología y la evaluación del riesgo de las nanopartículas artificiales y la Salud (ERNA). **Seguridad y Medio Ambiente**, v.114, p. 6-16, 2009.

BAuA; VCI. **Guidance for handling and use of nanomaterials at the workplace**. Berlin/Dortmund/Frankfurt: VCI, 2007. Disponível em: <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/121306-leitfadennano-engl-final.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **PD6699-2:2007**: nanotechnologies - Part 2: guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials. London: BSI, 2007.

BROUWER, D. H. Control banding approaches for nanomaterials. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 56, n. 5, p. 506-514, 2012.

CORNELISSEN, RALF.; JONGENEELLEN, FRANS.; BROEKHUIZEN, PIETER VAN.; BROEKHUIZEN, FLEUR VAN. **Guidance working safely with nanomaterials**: the guide for employers and employees: version 1.0 may 2011. Disponível em: <http://www.industox.nl/Guidance%20on%20safe%20handling%20nanomats&products.pdf>. Acesso em: 28 maio 2018.

DUPONT; ENVIRONMENTAL DEFENSE. **Nano**: risk framework. 2007. Disponível em: [https://nanotech.law.asu.edu/Documents/2011/06/6496\\_Nano%20Risk%20Framework\\_534\\_2973.pdf](https://nanotech.law.asu.edu/Documents/2011/06/6496_Nano%20Risk%20Framework_534_2973.pdf). Acesso em: 24 jun. 2019.

DUUREN-STUURMAN, B. V. *et al.* Stoffenmanager nano version 1.0: a web-based tool for risk prioritization of airborne manufactured nano objects. **The Annals of Occupational Hygiene.**, v. 56, n. 5, p. 525-541, 2012.

GOODNANOGUIDE. Disponível em: <https://www.safenano.org/knowledgebase/guidance/safehandling/goodnanoguide/>. Acesso em: 29 jun. 2016.

HÖCK J. *et al.* **Guidelines on the precautionary matrix for synthetic nanomaterials**, 2011. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YyCRoaJhNYAJ:https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YyCRoaJhNYAJ:https://www.bag.admin.ch/dam/bag/en/dokumente/chem/nanotechnologie/wegleitung-vorsorgeraster-nanomaterialien.pdf.download.pdf/wegleitung-vorsorgeraster-nanomaterialien.pdf+&cd=1&hl=en&ct=clnk&gl=br>. Acesso: em 29 jun. 2016.

ICTA. International Center for Technology Assessment. **Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais**: NanoAction. 2007.

NANOSAFER. Disponível em: <http://www.nanosafer.org/>. Acesso em: 29 jun. 2016.

NIOSH. **General safe practices for working with engineered nanomaterials in research laboratories**. 2012. Disponível em: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/pdfs/2012-147.pdf?id=10.26616/NIO-SHPUB2012147>. Acesso em: 29 jun. 2016.

OSTIGUY, C. *et al.* **Best practices guide to synthetic nanoparticle risk management**. Report R-599. Québec, Canada: Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2009.

PAIK. *et al.* Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. **The Annals of Occupational Society**, v. 52, n. 6, p. 419-428, 2008.

TSUJI, J. S. *et al.* Research strategies for safety evaluation of nanomaterials, part IV: risk assessment of nanoparticles. **Toxicological Sciences**, v. 89, n. 1, p. 42-50, 2006.

TYSHENCO, M. G.; KREWSKI, D. A. A risk management framework for the regulation of nanomaterials. **International Journal Nanotechnology**, v. 5, n. 1, p. 143-160, 2008.

## ***Avaliação de riscos no desenvolvimento de nanotecnologia em laboratório de pesquisa: estudo de caso***

*José Renato A. Schmidt, Bianca V. Oscar, Karine G. de Oliveira, Miriam Arl, Naiara M. Justino, Rodrigo C. Puerari, Denice Schulz Vicentini e William Gerson Matias*

A nanotecnologia é a área da ciência que estuda, desenvolve e manipula nanomateriais (NM), sendo estes definidos como materiais com, pelo menos, uma dimensão externa com tamanho entre 1-100 nanômetros. Estes NM exibem propriedades físico-químicas e comportamentos biológicos diferenciados. Além disso, suas propriedades não diferem apenas em comparação ao correspondente material na forma micrométrica, mas também entre diferentes nanoformas da mesma substância. Devido aos reduzidos tamanho, forma, aumento da área superficial, composição química, solubilidade e estado de agregação, os nanomateriais oferecem uma ampla gama de aplicações, como eletrônica, óptica, comunicações, cosméticos, tintas, embalagens e novos materiais inteligentes. Além disso, as alterações nas características físico-químicas dos NM levam a mudanças em suas propriedades químicas, reatividade, atividades fotocatalíticas e propriedades energéticas. Por sua vez, alteram toxicidade, destino, cinética e comportamento nos seres vivos e meio ambiente (ISO, 2010; RAI, 2015).

A crescente demanda por produtos contendo nanotecnologia contribuiu para elevar sua produção tanto nas indústrias quanto nos laboratórios de pesquisas e extensão das universidades. O crescente número de pesquisas envolvendo a síntese, a manipulação e as aplicações desses NM requerem estudos aprofundados de avaliação e mitigação dos riscos ligados à saúde e à segurança do trabalho (SST) envolvendo toda a rede de trabalhadores (pesquisadores, técnicos e bolsistas) expostos a esses materiais.

Este trabalho é fruto de uma dissertação desenvolvida na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) no Programa de Pós-graduação de Engenharia Ambiental, na linha de pesquisa Toxicologia Ambiental com ênfase em Nanotoxicologia. O objetivo da dissertação foi avaliar os riscos da manipulação durante a síntese e a aplicação de diversos NM em um laboratório de pesquisa por meio de métodos de controle de bandas (CB).

Os métodos de CB utilizam matrizes para identificar os riscos, em função do perigo, versus exposição. O nível de perigo se fundamenta em informações toxicológicas do NM. Na ausência dessas informações, são utilizados dados de substâncias químicas na forma macrométrica ou análoga. Adicionalmente, são necessários dados sobre a realização das atividades para a definição do nível de exposição dos trabalhadores, ao manipularem determinado NM (ISO, 2014).

Neste trabalho, foram aplicados quatro métodos de CB: CB Nanotool 2.0 (PAIK; ZALK; SWUSTE, 2008), ANSES CB Tool for Nanoparticles (ANSES, 2010), SST/Labnano (ANDRADE, 2013) e CB da ISO/TS 12901-2 (ISO, 2014) para a execução de seis tarefas envolvendo manipulações de nanotubos de dióxido de silício (NTSiO<sub>2</sub>) na forma amorfa, conforme mostrado no Quadro 1. Esses métodos apresentam uma matriz, variando o número de faixas entre 3 a 4 para a definição do nível da exposição e de 3 a 5 para o perigo, sendo agrupados em 3 a 5 grupos de riscos.

**Quadro 1** Denominação das tarefas envolvidas nas manipulações dos NTSiO<sub>2</sub>

<i>Tarefas</i>	<i>Descrição</i>	<i>Estado físico no início da tarefa</i>
1	Preparação de soluções para teste crônico com <i>Daphnia magna</i>	Pó particulado
2	Testes crônicos com <i>Daphnia magna</i>	Suspensão
3	Preparação de soluções para testes com células Vero	Pó particulado
4	Testes com células Vero	Suspensão
5	Preparação de membranas nanocompósitas	Pó particulado
6	Aplicação das membranas nanocompósitas em um sistema de filtragem de água	Sólido

Para a identificação do nível de perigo dos  $\text{NTSiO}_2$  nos diferentes métodos de CB, foram respondidas diversas perguntas sobre o material na sua forma macrométrica. São elas: limite de tolerância, carcinogenicidade, mutagenicidade, toxicidade para reprodução e para a pele e capacidade de indução de asma. As mesmas perguntas referentes à forma macro foram aplicadas ao NM. Entretanto, foram acrescentadas perguntas sobre as características físico-químicas, como: reatividade da superfície, forma, diâmetro e solubilidade. Também foram considerados dados conclusivos sobre a segurança, a classificação de perigo e a existência de nível de perigo para um mesmo material em escala macro ou substância análoga. Para a identificação do nível de exposição dos trabalhadores, foram respondidas diversas perguntas sobre a exposição e as características dos NM, como: número de trabalhadores, frequência e duração da tarefa, forma, quantidades, estado físico e possibilidade de dispersão do nanomaterial.

O  $\text{SiO}_2$  macro pode apresentar-se na forma cristalina ou amorfa. Existem várias notificações no Inventário de Classificação e Rotulagem da Agência Química Europeia (Echa), referente à toxicidade do  $\text{SiO}_2$ , em ambas as formas citadas anteriormente. Um exemplo de notificação de  $\text{SiO}_2$  cristalino é relatado no CAS nº 1.317-95-9, o qual registra sérios danos causados pela inalação em exposições crônicas (ECHA, 2016a). Na notificação do  $\text{SiO}_2$  amorfo com CAS n. 112945-52-5, relata-se que a substância pode causar câncer e irritações na pele, nos olhos e respiratórias (ECHA, 2016b).

Diversos estudos toxicológicos relatam que as nanopartículas de  $\text{SiO}_2$  amorfas causam efeitos mutagênicos *in vitro* (NAPIERSKA et al., 2010; NABESHI et al., 2011 e MASER et al., 2015). Na Tabela 1, são apresentados os resultados sobre o perigo e a exposição obtidos na aplicação dos métodos CB e os resultados das avaliações dos riscos.



**Tabela 1** Resultados de aplicação dos métodos CB

Tarefas	NE <sup>1</sup>	NEM <sup>2</sup>	NP <sup>3</sup>	NPM <sup>4</sup>	NR <sup>5</sup>	NRM <sup>6</sup>	Método
1	3				4		CB Nanotool 2.0
2	3				4		
3	3	4	4	4	3	4	
4	2				3		
5	3				4		
6	2				3		
1	3				3		SST/Labnano
2	1				2		
3	3	3	3	3	3	3	
4	1				2		
5	2				3		
6	1				2		
1	4				5		CB-Anses
2	1				5		
3	4	4	5	5	5	5	
4	1				5		
5	4				5		
6	1				5		
1	3				5		CB-ISO 12901-2
2	1				4		
3	3	4	5	5	5	5	
4	1				4		
5	2				5		
6	1				4		

<sup>1</sup>Nível de exposição, <sup>2</sup>Nível máximo de exposição, <sup>3</sup>Nível de perigo, <sup>4</sup>Nível máximo de perigo, <sup>5</sup>Nível de risco, <sup>6</sup>Nível máximo de risco.

Durante as manipulações de NTSiO<sub>2</sub>, as tarefas 1 e 3, que correspondem ao preparo de soluções para as etapas 2 e 4, apresentaram uma exposição máxima na maioria dos métodos, devido a seu estado físico de pó particulado. Este estado físico facilita a inalação, sendo esta a principal via de contaminação por NM. As tarefas 2 e 4, em que o NM se apresenta em suspensão em uma matriz líquida, e na tarefa 6, em uma matriz sólida, exibiram, na maioria dos métodos o menor nível de

exposição possível. Já na tarefa 5, que consiste na preparação de membranas nanocompósitas, foi observada uma menor exposição quando comparada com as tarefas 1 e 3. Isso se deve à utilização de baixas quantidades de NM (0,002 a 0,04g) e à menor frequência de uso destes

A avaliação do perigo do NM na execução das tarefas indicou o nível máximo, devido a algumas características apresentadas por esses materiais, como insolubilidade, dimensão preponderante e potencial mutagênico. Com os dados de exposição e perigo do nanomaterial aplicados nas matrizes de riscos dos métodos, foram obtidos os níveis de riscos na execução das tarefas, conforme a Tabela 1. As tarefas 1, 3 e 5 apresentaram, praticamente em todos os métodos, nível máximo de risco. Já as tarefas 2, 4 e 6 apresentaram um menor nível de risco, devido à menor exposição.

Assim, apesar de os resultados apontarem riscos elevados nas manipulações das tarefas com os  $\text{NTSiO}_2$ , são necessários mais estudos toxicológicos para a confirmação ou não destes resultados. Esta confirmação se faz necessária para fundamentar uma futura regulamentação sobre os NM, de modo a mitigar os possíveis riscos à saúde humana e ao meio ambiente.



## Referências

ANDRADE, L. R. B. **Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia**. 2013. 230 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/96396>. Acesso em: 10 maio 2016.

ANDES. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety. **Development of a specific control banding tool for Nanomaterials**. Report. Disponível em: <https://www.anses.fr/en/system/files/AP2008sa-0407RaEN.pdf>. Acesso em: 1 maio 2016.

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA). **Substance information**. Helsinki, Finland Disponível em: <http://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.121.463>. Acesso em: 2 maio 2016.

EUROPEAN CHEMICALS AGENCY (ECHA). **Substance information**. Helsinki, Finland. Disponível em: <http://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.118.670>. Acesso em: 02 maio 2016.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TR/ 11360:2010**: nanotechnologies - methodology for the classification and categorization of nanomaterials. International Organization for Standardization, 2010.

\_\_\_\_\_. **ISO/TS 12901-2: 2014**: technical specification - nanotechnologies – occupational risk management applied to engineered nanomaterials – part 2: use of the control banding approach. International Organization for Standardization, 2014.

MASER, E. *et al.* In vitro and in vivo genotoxicity investigations of differently sized amorphous SiO<sub>2</sub> nanomaterials. **Mutation Research. Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v. 794, p. 57--74, 2015.

NABESHI, H. *et al.* Amorphous nanosilica induce endocytosis-dependent ROS generation and DNA damage in human keratinocytes. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 8, n. 1, p. 1, 2011.

NAPIERSKA, D. *et al.* The nanosilica hazard: another variable entity. **Particle and Fibre Toxicology**, v. 7, n. 1, p. 39, 2010.

PAIK, S. Y.; ZALK, D. M.; SWUSTE, P. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. **An-**

**nals of Occupational Hygiene**, v. 52, n. 6, p. 419-428, 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/51407313\\_Application\\_of\\_a\\_Pilot\\_Control\\_Banding\\_Tool\\_for\\_Risk\\_Level\\_Assessment\\_and\\_Control\\_of\\_Nano-particle\\_Exposures](https://www.researchgate.net/publication/51407313_Application_of_a_Pilot_Control_Banding_Tool_for_Risk_Level_Assessment_and_Control_of_Nano-particle_Exposures) Acesso em: 11 dez 2014.

RAI, M. *et al.* Nanotechnology based anti-infectives to fight microbial intrusions. **Journal of Applied Microbiology**, n. 120, p. 527-542, 2015.

## ***Participação dos trabalhadores na gestão dos riscos das nanotecnologias***

*Luís Renato Balbão Andrade*

A participação de todos os envolvidos, em especial dos trabalhadores, é apontada como essencial na condução dos processos de gestão de riscos advindos do trabalho e na promoção de um ambiente laboral saudável (ILO, 2001 e 2011). Dessa forma, as metodologias para gestão de riscos que incluem a participação dos envolvidos em sua condução, ou ainda em sua construção e sua implementação, não podem ser tomadas como um conjunto fechado de práticas, nem como um pacote ou um modelo a ser impostos (RODRIGUES, 2007).

Neste contexto, o controle dos riscos laborais, embora já possua diretrizes básicas, deverá se constituir em um processo participativo de construção coletiva contínua. Segundo a European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA, 2012), a gestão bem-sucedida da segurança e saúde no trabalho exige que os trabalhadores sejam informados e consultados, e, principalmente, sejam autorizados a participar nas discussões sobre todas as questões relativas à segurança e à saúde no trabalho (SST). O relatório da OIT (2011) aponta no mesmo sentido<sup>22</sup>.

Segundo Rodrigues et al. (2007), abordagens que contemplem múltiplos aspectos da questão (como: econômicos, educacionais, informativos e afetivos) parecem ser as mais adequadas. Ainda para Rodrigues et al. (2007), a participação pode ser entendida como “um processo político e coletivo de tomada de decisão para a construção e exercício da autonomia, emancipação e empoderamento por meio do diálogo e cooperação”.

---

<sup>22</sup> Extraído de ANDRADE, L. R. B.; AMARAL, F. G.; WAISSMANN, W. Análise de propostas de gestão de riscos em ambientes com atividades envolvendo nanomateriais. *Visa em Debate: Sociedade, Ciência e Tecnologia*. V. 1, n. 4, p. 25-37, 2013. (p. 27; 29). <https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/63>. DOI: 10.3395/vd.v1i4.63pt

É importante salientar que o conceito antes apresentado não se constitui em unanimidade entre os autores da área (RODRIGUES, 2007), havendo diferenças ou mesmo antagonismos entre eles. Dessa maneira, impõem-se na utilização do conceito de participação que isso seja explicitado, de maneira que se possa indicar em que contexto e de que forma se entende a participação. A aceitação do conceito apresentado implica no fato de que a participação causará interferência nas relações entre os envolvidos, podendo tanto gerar quanto solucionar conflitos. Assim, dependendo do contexto, essa característica poderá ser um obstáculo ou um facilitador. Se não é unânime a defesa da participação dos trabalhadores, há de se compreender sua relevância, mesmo na possibilidade de geração de conflitos. Se há de se resolver obstáculos e conflitos pela participação e pela transparência, não pela exclusão de quem sofre o risco, não se pode negar que participações se deem de modos diversos. A diversidade de entendimentos sobre a participação pode ser evidenciada, ainda que de maneira resumida e esquemática nos Quadros 1, 2 e 3, fundamentados em Bordenave (1994) e Santos (2004).

**Quadro 1** Algumas classificações da participação

Tipos de participação	Descrição
Microparticipação	É a associação voluntária de duas ou mais pessoas em uma atividade comum na qual elas não pretendem unicamente retirar benefícios pessoais e imediatos.
Macroparticipação	É a intervenção das pessoas nos processos de constituição ou modificação social, quer dizer, “na história da sociedade”.  Para o caso deste trabalho a “sociedade” teria como paralelo o grupo de trabalhadores envolvidos no processo participativo de controle de riscos.

(...)

(...)

Maneiras de participação	Descrição
De fato	Quando o fato de existir o grupo impele o indivíduo a fazer parte, ou seja, trata-se da participação a que todos os seres humanos estão sujeitos a partir do momento em que decidiram viver ou estar em grupo.
Espontânea	Neste caso, o indivíduo só participa em determinados grupos, por livre opção, como os grupos de vizinhos e amigos. Tais grupos não têm organização e propósitos formais e estáveis.
Imposta	Quando os indivíduos são obrigados a participar, seja por códigos morais ou por legislação.
Voluntária	Quando o grupo é criado pelos próprios participantes que definem sua forma de organização, objetivos e métodos de funcionamento.
Provocada	Quando a participação é impulsionada por um agente externo.
Concedida	Acontece quando organizações e/ou agentes públicos conferem poder de decisão aos subordinados e/ou aos cidadãos.

Fonte: Adaptado de BORDENAVE (1994).



## Quadro 2 Níveis de exercício da participação

Níveis de exercício da participação	Descrição
Colaboração	Neste nível, a autoridade já definiu e decidiu e busca, nos membros do grupo, a legitimação da decisão tomada, ainda que seja pelo silêncio ou pela inércia do grupo.
Decisão	Neste nível, a participação acontece como uma “escolha entre alternativas”. Os aspectos mais amplos e fundamentais do processo não são alvo de análise. Um exemplo desse processo poderia ser aquele em que, diante de uma imposição legal (“o que fazer”) que não poderá ser discutida, decide-se pelo “como fazer”.
Construção em conjunto	Neste ponto, todo o processo é efetivamente discutido e pactuado pelo grupo que precisa superar suas eventuais divergências internas.

Fonte: Adaptado de SANTOS, 2004.

**Quadro 3** Algumas classificações da participação

Graus de participação	Controle		Descrição
	D	M	
Informação/ reação			Os membros do grupo são apenas informados sobre algo já posto. Por exemplo: os trabalhadores são informados de que haverá o fechamento da unidade fabril dentro de um determinado tempo.
Consulta facultativa			Aos membros do grupo, são solicitadas críticas e sugestões. Por exemplo: caixa de sugestões dentro de uma empresa.
Consulta obrigatória			Os subordinados são consultados (por obrigação), mas a decisão é da administração. Por exemplo: a negociação salarial entre empregadores e empregados.
Elaboração/ recomendação			Processo de elaboração em que a negativa, para a aceitação da recomendação posta, deve vir acompanhada de justificativa por parte do tomador de decisão. Por exemplo: sugestões feitas na empresa com retorno da administração.
Cogestão			Administração compartilhada por codecisão e colegiado. Por exemplo: comitê de fábrica, ou especificamente o Serviço Especializado em Segurança e Medicina do Trabalho (Sesmt).
Delegação			Autonomia em certos campos ou jurisdições. A autonomia pode ser cassada. Por exemplo: a autonomia delegada pelo tomador de decisão para alguém.
Autogestão			Não há autoridade externa que possa, eventualmente, cassar o poder de decisão. Por exemplo: empresas autogeridas por grupos de trabalhadores, cooperativas.
O controle aumenta no sentido da seta. D = dirigente M = membro.			

(...)

(...)

Níveis de importância da participação	Descrição
Nível 1 (maior importância da participação)	Formulação da doutrina e da política da instituição.
Nível 2	Determinação dos objetivos e estabelecimento das estratégias.
Nível 3	Elaboração de planos, programas e projetos.
Nível 4	Alocação de recursos e administração de operações.
Nível 5	Execução das ações.
Nível 6 (menor importância da participação)	Avaliação dos resultados.
Estilos de participação	Descrição
Superficial	Ocorre quando as ações são conduzidas por agentes externos, que se veem como detentores exclusivos do verdadeiro conhecimento e procuram impô-lo aos membros do grupo considerados ignorantes. Há pouco espaço para a participação efetiva.
Profunda	Quando o agente externo, se houver, identifica-se como “igual” aos membros do grupo. Neste caso, há o risco de se ignorar as relações de poder e liderança presentes no grupo.

Fonte: Adaptada de BORDENAVE, 1994.

Note-se que, a priori, não há um modelo de classificação melhor ou pior, ou ainda considerado por unanimidade. O mesmo ocorre em relação à participação em si. Ou seja, a “construção em conjunto” não é necessariamente melhor ou pior do que a “colaboração”. A situação em

particular é que demandará qual o formato mais adequado a ser adotado. Dessa maneira, os critérios de classificação apresentados prestam-se tão somente para a melhor compreensão do fenômeno e, portanto, não se constituem em uma escala de valor.

Além das características intrínsecas dos processos de participação, Bordenave (1994) e Borba (2006) apontam alguns princípios da participação (listados a seguir) que, não sendo dogmas, servem para apoiar e orientar a adoção deste tipo de processo:

- A participação é uma necessidade humana e, por conseguinte, constitui um direito da pessoa;
- A participação justifica-se por si mesma, não por seus resultados;
- A participação é um processo de desenvolvimento da consciência crítica e de aquisição de poder;
- A participação leva à apropriação do desenvolvimento pelo grupo;
- A participação é algo que se aprende e aperfeiçoa (embora seja uma necessidade humana, ela precisa ser aprendida).
- A participação pode ser provocada e organizada, sem que isso signifique necessariamente manipulação;
- A participação é facilitada com a organização e a criação de fluxos de comunicação;
- Devem ser respeitadas as diferenças individuais na forma de participar;
- A participação pode resolver conflitos, mas também pode gerá-los;
- Não se deve “sacralizar” a participação: ela não é panaceia nem é indispensável em todas as ocasiões.

Bordenave (1994) e Borba (2006) apresentam também alguns fatores condicionantes do processo de participação que tanto podem ser facilitadores quanto entraves à participação, dependendo de sua presença ou de sua ausência e da maneira pela qual serão abordados. Entre eles, é possível citar: as qualidades pessoais e diferenças entre os membros do grupo; a filosofia social (ou conjunto de valores) da instituição ou do grupo; os condicionantes históricos (processos anteriores); os limites derivados da complexidade e do tamanho de uma organização, grupo ou situação; convergência de objetivos (entre o individual e o coletivo); o acesso à informação; a realimentação do processo; e o diálogo (comunicação). Por fim, mas não menos importante, pode-se colocar entre os principais entraves ao processo de participação a falta de conhecimento, tempo e recursos financeiros, não necessariamente nesta ordem e também não de forma mutuamente excludente.

Diante do exposto, é lícito supor que a participação dos trabalhadores na condução da gestão de riscos ocupacionais no ambiente de trabalho deveria ser: macroparticipação (em relação ao tipo); no mínimo provocada, mas preferencialmente concedida (em relação à maneira); cogestão ou delegação (em relação ao grau); de nível 1 para as questões de SST (em relação ao nível de importância); profunda (em relação ao estilo); e como construção em conjunto (em relação aos níveis de exercício). Com base nos princípios e nos condicionantes elencados, a participação deve ser exercitada e promovida no ambiente de trabalho, com a meta de fazer este espaço mais seguro e saudável. Administração aberta à participação efetiva nas questões de SST é aquela que oferece informações corretamente, ouve criteriosamente e consulta ativamente os envolvidos. A ampla participação é um elemento-chave para condução efetiva do controle e a mitigação dos riscos em atividades envolvendo nanomateriais.

## Referências

- BORBA, J. Ciência política. 3.ed. Florianópolis: Sead/UFSC. 2014. Disponível em: [http://arquivos.eadadm.ufsc.br/somente-leitura/EaDADM/UAB\\_2017\\_1/Modulo\\_1/Ciencia%20Politica/material\\_didatico/UAB%20-%20Ciencia%20Politica%20-%203ed%20-%20Final.pdf](http://arquivos.eadadm.ufsc.br/somente-leitura/EaDADM/UAB_2017_1/Modulo_1/Ciencia%20Politica/material_didatico/UAB%20-%20Ciencia%20Politica%20-%203ed%20-%20Final.pdf). Acesso em: 02 ago 2021.
- BORDENAVE, J. E. D. **O que é participação**. São Paulo: Brasiliense, 1994.
- EU-OSHA. European Agency for Safety and Health at Work. **Worker representation and consultation on health and safety: un analysis of the findings of the European survey of enterprises on new and emerging risks (ESENER)**. European Risk Observatory Report. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work, 2012.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Guidelines on occupational safety and health management systems – ILO-OHS 2001**. Trad. Gilmar da Cunha Trivelato, Diretrizes sobre sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho. São Paulo: Fundacentro, 2005.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Sistema de gestão da segurança e saúde no trabalho: um instrumento para uma melhoria contínua**. ILO, 2011.
- RODRIGUES, C. L. *et al.* **Desafios e estratégias voltados a promover a participação social na recuperação florestal**. 2007. Disponível em: [https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/forum%20app/20071\\_Desafios\\_Carmem\\_ESALQ.pdf](https://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/forum%20app/20071_Desafios_Carmem_ESALQ.pdf). Acesso em: 15 jun. 2016.
- SANTOS, J. C. **Processo de participação como alternativa política para a transformação social**. 2004. Série Sociedade Solidária, v. 1. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/35332609/PROCESSO-DE-PARTICIPACAO-COMO-ALTERNATIVA-POLITICA-PARA-A-TRANSFORMACAO-SOCIAL>. Acesso em: 15 de jun. 2016.



## *O princípio da precaução aplicado aos nanomateriais*

*Luís Renato Balbão Andrade*

Inicialmente, é importante destacar que, sob o ponto de vista teórico, o principal desafio da segurança e da saúde no trabalho (SST), no que tange às nanotecnologias, é o fato de essa ter de lidar com a incerteza em relação aos impactos dos nanomateriais sobre a segurança e a saúde humana (HALLOCK et al., 2009; US/DOE, 2008; TEXAS A&M, 2005; LINKOV et al., 2009; WARDAK et al., 2008; MAYNARD, 2016). Na prática, tal cenário implica que as abordagens quantitativas da higiene ocupacional tradicional sejam de pouco auxílio, pela dificuldade de determinação de o quê e como medir em relação à contaminação ambiental por nanopartículas (LINKOV et al., 2009; EUROPEAN COMMISSION, 2009).

Posto que as metodologias quantitativas (objetivas) tradicionais da higiene ocupacional não conseguem endereçar adequadamente a gestão de riscos envolvendo nanomateriais, é lícito valer-se de metodologias e abordagens qualitativas de caráter mais subjetivo. É sob este panorama que o princípio da precaução deve ser adotado. Na mesma linha, não havendo incerteza (ou seja, tendo-se conhecimento dos efeitos e impactos dos materiais com os quais trabalhamos), deverá ser aplicado o princípio da prevenção.

Embora preconizado como alternativa adequada para novas tecnologias (neste caso, as nanotecnologias), o conceito por trás do princípio da precaução não é novo. O primeiro registro do uso desta abordagem data de 1854, em Londres (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2001).

Mais recentemente, o princípio da precaução, referido como o 15º princípio da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (ONU, 1992), embora desenvolvido para a área ambiental, é transposto para o ambiente ocupacional por diversos autores, entre eles Marchant et al. (2008) e Stebbing (2009). Estes autores colocam que é melhor prevenir (diante da incerteza) do que remediar (porque eventualmente isso pode nem ser possível). Em outras palavras, a ausência de “certeza científica absoluta” sobre eventuais danos não será utilizada



como razão para o adiamento de medidas economicamente viáveis para prevenir estes mesmos danos. Este princípio, de forma geral, parece adequado à gestão de riscos gerados pelas nanotecnologias, justamente em função das lacunas de conhecimento sobre o comportamento dos nanomateriais especificamente acerca de seus efeitos sobre a saúde e a segurança daqueles que os manipulam.

Cabe indicar que, por definição, não existe “certeza científica absoluta”, pois um dos pilares da ciência é justamente a possibilidade de questionar toda e qualquer informação. Dessa forma a expressão “certeza científica absoluta” aqui empregada deve ser entendida como uma situação na qual não haja provas (até aquele momento) que a refutem ou não parem dúvidas razoáveis sobre ela, mesmo na ausência de provas. Também pode ser entendida como o estado da arte do conhecimento sobre o qual nos debruçamos em dado momento.

Não existe uma definição única para o princípio da precaução (STEBBING, 2009), da mesma maneira como não há caracterização clara do que seja a prevenção minimamente necessária ao atendimento do princípio. Este aspecto subjetivo do princípio da precaução acaba por eventualmente comprometer sua eficácia, uma vez que a interpretação sobre qual seja a prevenção mínima pode ter enormes variações. Além disso, a expressão “princípio da precaução” também aparece como “ênfase de precaução” e “medidas de precaução” em alguns documentos.

Stebbing (2009) coloca duas formas básicas para abordar o princípio da precaução (Quadro 1). A primeira é a forma estrita baseada na proposição de “primeiro não fazer mal”. Nesta forma, é requerida a inação quando a atividade puder representar risco. A segunda forma, conhecida como ativa, indica que se deve “fazer mais e não menos”, aplicando os esforços apropriados para mitigar o risco pela escolha de alternativas com menor risco quando disponíveis e pela assunção das responsabilidades pelo risco potencial. Ainda segundo o mesmo autor, a forma ativa implica a incorporação de seis componentes, listados a seguir.

- Ações de prevenção devem ser tomadas antes da certeza científica entre causa e efeito;
- Objetivos devem ser definidos;
- Alternativas devem ser procuradas e avaliadas;

- A responsabilidade financeira e as provas de segurança devem recair sobre os proponentes da nova tecnologia;
- O dever de monitorar, compreender, investigar, informar e agir deve ser aceito;
- Deve ser fomentado o desenvolvimento completo de métodos e critérios de tomada de decisão mais democráticos.

O Quadro 1 aponta o enfoque do direito ambiental para o princípio da precaução e o princípio da prevenção, assim como o entendimento do princípio para a área de SST.

**Quadro 1** Elementos e abordagens dos princípios da precaução e prevenção

Nomenclatura	Área	Premissa	Consequência
Princípio da prevenção	Direito ambiental	Certeza científica sobre o dano ambiental	A obra será realizada e serão tomadas medidas que evitem ou reduzam os danos previstos
Princípio da precaução	Direito ambiental	Incerteza científica sobre o dano ambiental	A obra não será realizada (in dubio pro medio ambiente ou in dubio contra projectum)
Princípio da prevenção	Segurança e saúde no trabalho	Certeza científica sobre o dano para a saúde	A atividade será realizada com os cuidados adequados, normalmente previstos em Lei
Princípio da precaução – forma estrita	Segurança e saúde no trabalho	Incerteza científica sobre o dano para a saúde	A atividade não será realizada
Princípio da precaução – forma ativa	Segurança e saúde no trabalho	Incerteza científica sobre o dano para a saúde	A atividade será realizada, mas todas as medidas disponíveis para a mitigação dos riscos deverão ser adotadas

No caso específico das nanotecnologias, Sudarenikov (2013) indica que o princípio da precaução deve ser adotado em sua forma ativa, incorporando os componentes citados e respeitando a liberdade de pesquisa e encorajando a inovação. Apesar do apoio ao princípio da precaução, não faltam críticas a ele, como aponta Stebbing (2009). Nesse caso, a autora indica três pontos de crítica:

- O fato de que a “precaução” pode levar ao “medo do futuro”, pois poderia provocar um aumento na percepção dos riscos;
- Como a tecnologia pode ser vista como um instrumento de controle social, a aplicação de um enfoque de prevenção e precaução pode, inadvertidamente, reforçar as iniquidades sociais se não considerar o contexto de diferenças entre riscos e benefícios;
- O princípio da precaução pode causar paralisia (com relação ao avanço tecnológico) se as eventuais escolhas individuais sobre aceitação ou não de riscos (desconhecidos) forem superestimadas.

Para Stebbing (2009), as críticas apresentadas devem ser respondidas com o estabelecimento precoce de valores sociais (em relação às nanotecnologias), obtidos prioritariamente pela discussão e pelo engajamento público abrangente. A publicação da Agência Europeia do Meio Ambiente (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2001) dá conta de uma série de exemplos em que a não adoção do princípio da precaução gerou danos irreparáveis aos diretamente atingidos e de difícil reparação para a sociedade em geral. Entre os exemplos históricos citados (12 no total), é possível destacar: a radiação que era vista como benéfica para a saúde e hoje se sabe que provoca câncer; o uso do éter metil terciário butílico (MTBE) como aditivo na gasolina, sendo que se acredita que este produto possa ser cancerígeno e contaminar as águas subterrâneas; o uso do clorofluorocarboneto (CFC) em aerossóis responsáveis pela diminuição da camada de ozônio; e a questão do asbestos que, de material milagroso, passou a mineral malévolos por conta de ser cancerígeno. Para este último, vale apontar que, em 1898 (sim, há

mais de um século!), um inspetor de fábricas no Reino Unido indicava o asbesto como responsável pelo agravo à saúde daqueles que estavam expostos à poeira deste material.

Não se advoga uma moratória sobre os nanomateriais ou se demoniza as nanotecnologias sob o aspecto da SST. Pelo contrário, queremos “fazer mais e não menos”, como a forma ativa do princípio da precaução indica. A proteção à saúde, mais do que um direito dos envolvidos, é um dever de quem produz uma nova tecnologia. Logo, com os nanomateriais, não pode ser diferente. A história está posta para nos ensinar. Cabe-nos aprender com ela para não repetir os erros do passado.



## Referências

- EUROPEAN COMMISSION. **Risk assessment of products of nanotechnologies**. Brussels: Scientific committee on emerging and newly identified health Risks (SCENIHR), 2009.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000**. Environmental Issue Report, n. 22. Copenhagen: European Environment Agency, 2001.
- HALLOCK, M. *et al.* Potential risks of nanomaterials and how to safely handle materials of uncertain toxicity. **Journal of Chemical Health and Safety**, v. 16, p. 16-23, 2009.
- LINKOV, I. *et al.*, Emerging methods and tools for environmental risk assessment, decision-making, and policy for nanomaterials: summary of NATO advanced research workshop. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 11, p. 513-527, 2009.
- MARCHANT, G.E.; SYLVESTER, D. J.; ABBOTT, K.W., Risk management principles for nanotechnology. **NanoEthics**, v. 2, p. 43-60, 2008.
- MAYNARD, A. **We don't talk much about nanotechnology risks any more, but that doesn't mean they're gone**. The Conversation, 29 mar. 2016. Disponível em: <http://theconversation.com/we-dont-talk-much-about-nanotechnology-risks-any-more-but-that-doesnt-mean-theyre-gone-56889>. Acesso em 26 jun. 2019.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Declaração do Rio – 1992. Disponível em: <http://www.dhnet.org.br/direitos/sip/onu/bmestar/rio92.htm>. Acesso em: 14 jun. 2016.
- STEBBING, M. Avoiding the trust deficit: public engagement, values, the precautionary principle and the future of nanotechnology. **Journal of Bioethical Inquiry**, v. 6, p. 37-48, 2009.
- SUDARENKOV, V. **Nanotechnology: balancing benefits and risks to public health and the environment**. Council of Europe. Committee on Social Affairs, Health and Sustainable Development, 2013.
- TEXAS A&M ENGINEERING. **Interim guideline for working safely with nanotechnology**. 2005. Disponível em: [https://www.chem.tamu.edu/rgroup/wooley/safety/16%20nanotech%20TAMU%20NANO\\_SafeGuideline.pdf](https://www.chem.tamu.edu/rgroup/wooley/safety/16%20nanotech%20TAMU%20NANO_SafeGuideline.pdf). Acesso em: 16 de jun. 2016.

US/DOE. **Approach to nanomaterial ES&H**: rev. 2. 2008. Disponível em: <https://orau.org/ihos/downloads/tech-topics/nanotechnology/NSRCMay12.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2021.

WARDAK, A. *et al.* Identification of risks in the life cycle of nanotechnology-based products. **Journal of Industrial Ecology**, v. 12, p. 435-448, 2008.

# ***Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia (S-SST/Labnano)***

*Luís Renato Balbão Andrade e Fernando Gonçalves Amaral*

## ***Introdução***

As nanotecnologias são caracterizadas por dois aspectos principais: o primeiro refere-se à escala de tamanho, que deve estar abaixo de 100 nanômetros; o segundo relaciona-se ao fato de que a nanoescala deve emprestar ao material novas características não presentes em escalas maiores. Estas novas características apresentam inúmeras incertezas quanto à saúde humana, à segurança e ao meio ambiente.

A literatura sobre sistemas de gestão de em Saúde e Segurança no Trabalho (SST) é farta. Richers (2005) informa que a não convergência entre os diferentes autores sobre como conceber, implementar e manter um sistema de gestão para SST, ou seja, por corolário, não aponta qual seria o melhor modelo para esta implementação. O mesmo autor, no entanto, identifica que os diversos modelos são convergentes quanto ao fato de as organizações deverem incorporar uma política de SST, realizando um planejamento que permita a definição de planos de ação, possibilite a implementação desse planejamento e realize verificação e eventuais correções sobre as atividades em relação ao que foi originalmente concebido. Por fim, as organizações não devem deixar de promover uma análise crítica sobre a eficácia do funcionamento do sistema.

Considerando este cenário, ainda são tímidas as ações empreendidas no sentido de compreender a dimensão dos impactos das nanotecnologias sobre o mundo do trabalho. Diante das ferramentas já existentes, este artigo apresenta uma proposta metodológica para estruturar e avaliar ações de segurança e saúde no trabalho em laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia, baseado nos elementos-chave do documento da OIT (2005) e tendo em conta que seu foco é essencialmente os trabalhadores.



## *Metodologia*

Para o desenvolvimento da proposta, foram analisadas as principais características de alguns sistemas de gestão (RICHERS, 2005; OIT, 2005; OSHAS, 2008), sistemas de gestão nanoespecíficos como o NanoRisk Framework (2007) e o Control Banding Nanotool (PAIK, 2008), bem como as normas já existentes para laboratórios com atividades em nanotecnologia como o MIT (2011), o Texas A&M Engineering (2009) e o Stanford Linear Accelerator Center (2008). A proposta foi desenvolvida por meio da compilação dos documentos mencionados de maneira a ser mais abrangente e atender a todos em conjunto e a cada um deles individualmente. A proposta incorpora um algoritmo de classificação dos riscos em três níveis, para que medidas de controle mais rigorosas possam ser adotadas em função do risco potencial a ser controlado (FRONZA et al., 2007) – Quadros 2, 3, 4 e 5. A proposta recebeu o nome de Sistemática de Ações de Segurança e Saúde no Trabalho para Laboratórios de Pesquisa com atividades de Nanotecnologia (S-SST/Labnano), constituindo a tese de doutorado de um dos autores (ANDRADE, 2013).

## *S-SST/Labnano*

As incertezas a respeito dos efeitos das nanopartículas sobre o organismo parecem ajudar a colocar a preocupação com os riscos potenciais destas partículas em segundo plano (US/DOE, 2008). É possível perceber observações de que determinado procedimento ou elemento é seguro, ainda que estes sejam novos e não tenham sido testados a esse respeito. Além disso, normas e regulamentos podem ser vistos como entraves ao desenvolvimento científico e não como uma forma de proteção. A proposta de sistemática baseia-se no documento da OIT (2005) e contém três abordagens principais:

- Adoção do Princípio da Precaução, descrito com mais detalhes no capítulo “O princípio da precaução aplicado aos nanomateriais” deste livro, mas aqui resumido como: em todas as atividades envolvendo nanomate-

riais, estes devem ser considerados potencialmente perigosos. Como tal, devem ser tratados até haver evidências de que sejam inócuos. Ainda, seguindo o mesmo princípio, havendo mais de uma classificação possível para uma mesma atividade ou nanomaterial, devem ser adotadas as medidas preconizadas no grupo de maior risco.

- Ênfase na Participação dos envolvidos (especialmente os trabalhadores) no processo de desenvolvimento e aplicação da gestão de riscos ocupacionais no ambiente de trabalho, neste caso laboratórios de pesquisa (também este tema é tratado no capítulo “Participação dos trabalhadores na gestão dos riscos das nanotecnologias” deste livro).
- Aplicação da metodologia de Control Banding (CB). A S-SST/Labnano incorpora a metodologia de CB, explicitada por um algoritmo (Quadros 2, 3, 4 e 5) de classificação das atividades em função do perigo intrínseco das nanopartículas e da frequência com que estas são manipuladas. o que permite uma avaliação qualitativa do grau de risco envolvido no trato destes elementos. O algoritmo possibilita a classificação das atividades envolvendo as nanopartículas em três grupos distintos e crescentes em relação ao risco, sendo o grupo I considerado menos perigoso que o grupo III.

Os elementos da S-SST/Labnano podem ser identificados no Quadro 1. Nele também é indicado o caráter de continuidade das ações, ou o ciclo contínuo, de maneira a funcionar sistemicamente, ou seja, com cada uma das ações, dependendo e influenciando as demais.

## ***Discussão e conclusão***

Para as nanotecnologias, o Princípio da Precaução parece ser uma abordagem apropriada (HALLOCK et al., 2009). No entanto, é necessário dispor-se de um sistema pragmático de controle de riscos que incorpore este princípio. Uma ferramenta de gestão de riscos provavelmente carecerá de outros aportes, como sistemas de gestão de pessoas e de gestão do conhecimento (OSTIGUY et al., 2009).

Os riscos associados às nanopartículas dependem de várias características físicas (tamanho, forma, morfologia da superfície, área superficial, carga superficial, reologia, porosidade, cristalinidade etc.) e químicas (composição, química de superfície, estequiometria, cinética de dissolução e solubilidade, hidroflicidade e hidrofobicidade), além da presença de impurezas (FRONZA et al., 2007). Todas as análises mencionadas aqui trazem dados sobre as partículas, mas não fornecem informações sobre suas interações com o organismo humano, nem quais são e como funcionam os processos de absorção dérmica, inalação, ingestão ou contato ocular.

Do exposto, é possível concluir a importância da necessidade de acreditar no risco e agir sobre a incerteza, tal qual o Princípio da Precaução preconiza. Embora a literatura aponte indícios de riscos na manipulação de nanomateriais (FRONZA et al., 2007; HALLOCK et al., 2009; MIT, 2011; e OSTEGUY, 2009; entre outros), apenas aproximadamente 10% dos pesquisadores que trabalham com nanomateriais utilizam capuzes de proteção nanoespecífica (nano-enabled hoods), por exemplo. Além disso, um em quatro pesquisadores não usa qualquer tipo de proteção coletiva no laboratório (BALAS et al., 2010). Assim, tendo em conta as lacunas de conhecimento a respeito dos efeitos dos nanomateriais sobre as pessoas e o meio ambiente, é legítima e digna de atenção a preocupação com a segurança e a saúde dos trabalhadores (pesquisadores) potencialmente expostos a estes elementos.

**Quadro 1** Esquema da S-SST/Labnano

<p>A. POLÍTICA</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* amplamente participativa</li> <li>* formalmente estabelecida</li> </ul>
<p>B. ORGANIZAÇÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* competência e capacitação</li> <li>* responsabilidade e prestação de contas</li> <li>* documentação * comunicação</li> </ul>
<p>C. PLANEJAMENTO e IMPLANTAÇÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* medidas técnicas e organizacionais de prevenção e controle de riscos</li> <li>* emergências * vigilância médica * limpeza * transporte</li> <li>* rotulagem</li> <li>* eliminação/destinação de resíduos</li> <li>* equipamento de proteção individual</li> </ul>
<p>D. AVALIAÇÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* monitoramento e avaliação de desempenho</li> <li>* investigação de acidentes e incidentes * análise crítica pela administração * auditoria</li> </ul>
<p>E. MELHORIAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* ações preventivas e corretivas</li> <li>* melhoria contínua</li> </ul>

**Quadro 2** Determinação do escore de perigo

Questão	Resposta	Ação	Resultado
Há dados conclusivos sobre a segurança do nanomaterial?	SIM	0	
	NÃO	+1	
Os nano-objetos são fibrosos ou contém uma dimensão preponderante?	SIM	+1	
	NÃO	-1	
O material contém nanopartículas solúveis ou lábeis?	SIM	+1	
	NÃO	-1	
O nanomaterial contém elementos potencialmente cancerígenos ou mutagênicos	SIM	+1	
	NÃO	-1	
Soma dos resultados obtidos			

**Quadro 3** Determinação do escore de exposição

Questão	Resposta	Ação	Resultado
A frequência do uso dos nanomateriais é: alta=mais de uma vez por semana; média=1 vez por mês; baixa=menos de 1 vez por mês.	ALTA	+1	
	MÉDIA	0	
	BAIXA	-1	
As quantidades usadas são grandes	SIM	+1	
	NÃO	0	
Os nanomateriais estão livres (ou seja, não fazem parte de uma matriz sólida ou líquida)	SIM	+1	
	NÃO	-1	
Os nanomateriais são manipulados na forma de nanopós	SIM	+1	
	NÃO	-1	
Há possibilidade de dispersão das nanopartículas no ar (típicas em operações de corte ou cominuição)	SIM	+1	
	NÃO	-1	
Soma dos resultados obtidos			

**Quadro 4** Matriz de risco da S-SST/Labnano

		Perigo	Escore de perigo		
			Neutro (zero)	Agravado (positivo)	
Escore de exposição	Atenuado (negativo)	Grupo de risco I	Grupo de risco I	Grupo de risco II	
	Neutro (zero)	Grupo de risco I	Grupo de risco II	Grupo de risco III	
	Agravado (positivo)	Grupo de risco II	Grupo de risco III	Grupo de risco III	

**Quadro 5** Ações gerais em função do grupo de risco

Grupo de risco I	Grupo de risco II	Grupo de risco III
<p>Capela de exaustão ou recirculação com filtração HEPA (High Efficiency Particulate Air).</p> <p>Acesso controlado por avisos e normas internas.</p> <p>As tarefas poderão ser executadas fora do horário por apenas uma pessoa, desde que haja a comunicação do fato.</p> <p>Outras ações ou modificações são definidas pelo conjunto dos envolvidos.</p>	<p>Capela de exaustão com filtração HEPA (High Efficiency Particulate Air).</p> <p>Acesso controlado por meio de documentação.</p> <p>As tarefas podem ser executadas fora do horário normal de trabalho por, no mínimo, duas pessoas.</p> <p>Outras ações ou modificações são definidas pelo conjunto dos envolvidos.</p>	<p>Capacitação deve ser atualizada, no mínimo, anualmente ou sempre que houver mudança nas atividades.</p> <p>Deve ser utilizado sistema fechado.</p> <p>Preferencialmente adotar controle eletrônico de acesso.</p> <p>Não deve ser permitida a execução de tarefas fora do horário normal de trabalho.</p> <p>Deve ser fornecido serviço de lavanderia.</p> <p>Outras ações ou modificações são definidas pelo conjunto dos envolvidos.</p>



## *Referências*

- ANDRADE, L. R.B. **Sistemática de ações de segurança e saúde no trabalho para laboratórios de pesquisa com atividades de nanotecnologia**. 2013. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2013.
- ARAUJO, G. M. **Sistema de gestão de segurança e saúde ocupacional OSHAS 18.001/2007 e OIT SSO/2001**. 2. ed., v. 2. Rio de Janeiro: Gerenciamento Verde, 2008.
- BALAS, F. *et al.* Reported nanosafety practices in research laboratories worldwide. **Nature Nanotechnology**, v. 5, 93-96, 2010.
- DUPONT; ENVIRONMENTAL DEFENSE. **Nano: risk framework**, 2007.
- FRONZA, T. *et al.* **Nanocosméticos: em direção ao estabelecimento de marcos regulatórios**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.
- HALLOCK, M. *et al.* Potential risks of nanomaterials and how to safely handle materials of uncertain toxicity. **Journal of Chemical Health and Safety**, v. 16, p. 16-23, 2009.
- MIT. Massachusetts Institute of Technology. **University Best Practice**. 2011. Disponível em: [https://www.missouristate.edu/assets/environmental/MSU\\_DRAFT\\_Nano\\_Best\\_Practices\\_for\\_Labs\\_2013.pdf](https://www.missouristate.edu/assets/environmental/MSU_DRAFT_Nano_Best_Practices_for_Labs_2013.pdf). Acesso em: 27 jul. 2021.
- OIT. Organização Internacional do Trabalho. Diretrizes sobre sistemas de gestão da segurança e saúde no trabalho. São Paulo: Fundacentro, 2005.
- OSTIGUY, C. *et al.* **Best practices guide to synthetic nanoparticle risk management**. Report R-599. Québec, Canada: Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST), 2009.
- PAIK, S. Y.; ZALK, D. M.; SWUSTE, P. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. **British Occupational Hygiene Society**, v. 52, n. 6, p. 419- 428, 2008.
- RICHERS, R. S. **Fatores organizacionais críticos como parâmetros para conceber, implementar e manter um sistema de gestão de segurança e saúde no trabalho**. 2005. 91 p. Dissertação (Mestrado em Sistema Integrado de Gestão em segurança) – Senac, São Paulo, 2005.



STANFORD LINEAR ACCELERATOR CENTER. **Nanomaterial safety plan**. 2008.

TEXAS A&M ENGINEERING. **Interim guideline for working safely with nanotechnology**. 2009. Disponível em: [https://www.chem.tamu.edu/rgroup/wooley/safety/16%20nanotech%20TAMU%20NANO\\_SafeGuideline.pdf](https://www.chem.tamu.edu/rgroup/wooley/safety/16%20nanotech%20TAMU%20NANO_SafeGuideline.pdf). Acesso: em 7 abr. 2011.

US/DOE. **Approach to Nanomaterial ES&H**: rev. 3a. 2008. Disponível em: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1302097>. Acesso: em: 7 abr.2011.

# *Pequeno não quer dizer seguro: nanotecnologia e a saúde do trabalhador*

*Luís Carlos de Oliveira*

## ***Introdução***

Este trabalho busca debater a necessidade de se construir um marco regulatório sobre a nanotecnologia em todo seu processo e uma regulação que trate desde os editais que envolvam os projetos de pesquisa e inovações, passando pelos protocolos de pesquisas públicos e privados. Estes devem ser regulados e garantir a rotulagem com informações do produto e processos, indo até a fase final, que é o descarte de resíduos, independentemente de serem produtos sólidos e líquidos.

Por outro lado, traz à baila outros aspectos que vão além das maravilhas da nanotecnologia. Foca a questão da saúde dos trabalhadores e do meio ambiente, sobretudo quando denuncia a possibilidade de essas atividades impactarem a vida dos seres humanos, dos animais e dos vegetais, ou seja, a vida no planeta. Desse modo, o trabalho busca não só a reflexão sobre a temática, mas aponta para outras linhas de investigação que enfatizam a saúde e a segurança dos trabalhadores e consumidores, bem como os possíveis impactos da nanotecnologia ao meio ambiente.

Busca também provocar algumas reflexões no sentido de relativizar o entusiasmo gerado pelas maravilhas que a nanotecnologia oferece, objetivando prevenir possíveis riscos a todos os seres vivos. Desse modo, devemos observar e estudar o comportamento da matéria, antes de confiarmos a ela nosso futuro, acreditando inocentemente que ela se submeteu por completo aos nossos interesses. Assim, este trabalho propõe que, paralelamente às pesquisas que buscam descobrir novas potencialidades da matéria, se desenvolvam também estudos e pesquisas que possam responder as questões relacionadas a possíveis impactos em relação à saúde e segurança do trabalhador e do meio ambiente, tendo em vista que a matéria ao atingir a dimensão nano muda o seu comportamento.

## *Nanotecnologia*

Segundo a Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro), existem várias definições sobre nanotecnologia. Uma delas considera a nanotecnologia como o desenvolvimento da pesquisa e a tecnologia em nível atômico, molecular e macromolecular, em uma escala de, aproximadamente, 1-100 nanômetros.

Para Arcuri<sup>23</sup> (2014), a nanotecnologia é uma tecnologia que envolve a manipulação da matéria, das coisas e dos objetos em escala nanométrica, sendo nano a representação de um bilionésimo do metro. Segundo Arcuri, a nanotecnologia é toda uma cadeia de produção que envolve desde a área de pesquisa de produtos novos em escala nanométrica até a produção de objetos destinados ao mercado. Ou seja, é toda uma cadeia produtiva que envolve a pesquisa (pública e privada), a produção e o mercado.

Segundo Martins<sup>24</sup> (2014), quando nos referimos à nanotecnologia, temos de citá-la no plural. O termo deve ser pronunciado como nanotecnologias, pois são diferentes técnicas que permitem trabalhar nessa dimensão. Para o autor, as pesquisas que envolvem nanotecnologia buscam descobrir as características possíveis de um material ou elemento, bem como investigar novas potencialidades que um determinado material pode adquirir quando se encontra em tamanho nano, saber se é isolante ou se é condutor elétrico por exemplo e daí produzir de modo intencional as nanopartículas.

Para Jensen (2015) a nanotecnologia caracteriza-se por dois aspectos. O primeiro refere-se à escala de tamanho: ao menos uma das dimensões deve estar abaixo de 100 nanômetros. O segundo e mais importante aspecto relaciona-se com o fato de que a nanoescala deve emprestar ao material novas características não presentes em escalas maiores. O comportamento da matéria em nanoescala é essencialmente

---

<sup>23</sup> ARCURI, Arline Sydneia Abel, Dra. em química e pesquisadora da Fundacentro, coordenadora do projeto impactos da nanotecnologia na saúde do trabalhador e meio ambiente, entrevista – 27/02/2014.

<sup>24</sup> MARTINS, Paulo. Doutor em ciências sociais, coordenador da Rede Brasileira de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma) – entrevista 25/02/2014.

diferente daquele encontrado em escalas maiores, por conta da reatividade aumentada (oferecida pela grande área superficial das partículas) e dos efeitos quânticos, em função de seu diminuto tamanho.

### ***Potencial econômico da nanotecnologia***

Segundo Flavio Plentz Filho<sup>25</sup> (2013), representante do Ministério da Ciência, Tecnologia e Indústria (MCTI), o governo brasileiro aposta no potencial que a nanotecnologia possui, sobretudo no que se refere à questão econômica. De acordo com ele, a prosperidade econômica está ancorada em novas tecnologias em que a nanotecnologia está inclusa. Assim, ao se pensar no futuro econômico, deve-se olhar para o mercado com vistas aos produtos da nanotecnologia, justamente porque os investimentos nesses produtos chegarão a três trilhões de dólares até 2020.

Para a ABDI (2010), a nanotecnologia estabelece as bases que possibilitam moldar novos materiais em escala manométrica. A ABDI relata também que suas aplicações e os benefícios dessas tecnologias para a indústria são incomensuráveis e fazem desse nicho de conhecimento o precursor da próxima e mais forte de todas as revoluções industriais.

### ***Presença da nanotecnologia***

A nanotecnologia está em toda parte. Sob tal aspecto, sua implementação passa ao largo do que seria elementar. Ou seja, discutir se a sociedade brasileira concorda ou não com a utilização da nanotecnologia, mesmo porque ela já se faz presente. Basta observarmos propagandas da indústria de cosméticos, higiene e limpeza, indústria têxtil etc. Produtos originários desta tecnologia são oferecidos aos consumidores pelos meios de comunicação, ignorando todos os alertas quanto aos possíveis impactos negativos desses produtos com relação ao meio am-

---

<sup>25</sup> Palestra proferida no dia 05 de setembro de 2013 no Workshop Internacional Nanotecnologia e Sociedade na América Latina, promovido pela Rede Latino-Americana de Nanotecnologia e Sociedade (ReLANS).

biente, à saúde humana ou à vida em geral, atropelando a razão e o princípio da precaução, amparados pela falta de regulamentação específica.

O próprio governo brasileiro, segundo Plentz (2013), reconhece que a nanotecnologia está presente em vários setores da economia e está entusiasmado com o forte potencial econômico que ela representa. Para a ABDI (2010), essa nova área do conhecimento já impulsiona o mercado profissional em vários setores da economia, como a eletrônica, a energia, a indústria de veículos e de equipamentos de transportes, a construção civil, a química e a petroquímica, o agronegócio, a biomedicina e a terapêutica, ótica, a metrologia, a produção mineral, a proteção e a remediação ambiental. Para eles, trata-se de uma área multidisciplinar envolvendo conhecimento em eletrônica, ciência da computação, física, matemática, química, materiais e engenharias, em que muitos conceitos e paradigmas da ciência formal atual estão sendo questionados pelas novas descobertas e desenvolvimentos dos novos produtos por ela proporcionados e que já fazem parte da nossa vida.

### ***Riscos da nanotecnologia***

A nanotecnologia está na fronteira da ciência do século XXI. Contudo, traz consigo uma miríade de dúvidas e riscos que exigem muita cautela no sentido de evitar que nossos olhares não sejam ofuscados pelas promessas de retorno econômico a curto e médio prazos.

Se por um lado essa tecnologia pode conferir diversos avanços, como o tratamento de diversas doenças, além de infinitas possibilidades no campo da medicina e da indústria farmacêutica, por outro, essas mesmas possibilidades reluzem aos olhos da sociedade e aguçam a ganância do capital. Assim, particulariza-se o debate que deveria ser aberto, transparente e democrático em um assunto absoluto, inviolável e de caráter particular/privado.

Portanto, quando falamos em riscos da nanotecnologia ou de seus possíveis impactos em determinados fóruns (sobretudo com empresários), percebemos certo preconceito e tentativa de constrangimento, principalmente quando se cita a necessidade de se construir um controle social para o assunto. Soa como se estivéssemos pregando o retorno

da Inquisição. Ora! Esses são problemas que temos de debater, especialmente os relacionados com a saúde dos trabalhadores, pois, de sua história, a classe operaria pode relatar inúmeras experiências negativas com determinados produtos. Inclusive alguns deles persistem prejudicando a saúde de trabalhadores até os dias de hoje, como é o caso do amianto, considerado carcinogênico pela OMS; do mercúrio, utilizado inclusive na indústria da medicina na produção de manômetros e na indústria de lâmpadas; e do benzeno, também considerado cancerígeno. Muitos trabalhadores, principalmente de postos de gasolina, têm sido expostos a esse produto, por falta de investimento em adequação dos postos de gasolina, situação que tem sido ignorada pela sociedade.

É possível citar também os acidentes com máquinas que acontecem também por falta de adequação do parque industrial à norma NR12. Tal norma inclusive sofre por parte da Confederação Nacional da Indústria (CNI) inúmeras tentativas de sustação. Podemos falar ainda das doenças ocasionadas pelo processo de trabalho e, por último, lembrar um recente e gravíssimo acidente de trabalho de proporção ampliada que prejudicou não só os trabalhadores, mas uma cidade inteira e toda uma região. A ganância e a irresponsabilidade de uma empresa deixou romper uma barragem de resíduos de minério, gerando uma enxurrada de lama que percorreu mais de 700 km e deixou para trás um rastro de morte e desolação na região. Trata-se do desastre de Mariana (MG), de um acidente de trabalho ampliado que destruiu o ambiente, por quilômetros e quilômetros, até chegar nas águas do oceano no estado do Espírito Santo.

Não foi um desastre provocado de modo natural. Foi provocado pela negligência e pela ambição, pois, de acordo com a fiscalização do Ministério do Trabalho da região, a empresa já tinha conhecimento dos riscos, mas as medidas cautelares tomadas por ela não foram adequadas, justamente porque as decisões de adequação foram influenciadas pelo custo. Importante citar que o prejuízo não foi apenas ambiental. Foi também social, econômico e, principalmente, com relação à saúde psíquica de toda uma população.

Assim, quando falamos em nanotecnologia, é possível confiarmos a segurança da humanidade nas mãos de empresas privadas, laboratórios privados, ou precisamos agir com precaução? No que se refere a essa questão, não são poucos os especialistas que denunciam os riscos

da nanotecnologia. Jensen (2015) cita que a nanotecnologia pode trazer riscos em potencial se estudos e procedimentos específicos não forem observados pela sociedade e afirma que muitas das características que fazem da nanotecnologia um campo promissor podem produzir efeitos indesejáveis quando se trata de saúde e meio ambiente. Assim, o autor acredita que a diversidade no comportamento dos nanomateriais justifica as incertezas quanto aos efeitos das nanopartículas sobre a saúde e o meio ambiente. Paumgarten e Delgado (2016) apontam na mesma direção quando afirmam que, quando as dimensões de um material são extremamente reduzidas, aproximando-se do nível atômico ou molecular (escala nanométrica), algumas de suas propriedades físicas podem mudar drasticamente.

### ***Trabalhadores e a nanotecnologia***

Como vimos, a matéria, ao atingir uma dimensão nano, pode mudar seu comportamento, devido ao aumento em sua área de superfície. Tal mudança pode surpreender até mesmo os pesquisadores. No entanto, esse novo comportamento representa uma das características do novo material. Se bem entendida, pode ser apropriada pela indústria na construção de novos produtos, propiciando um grande progresso tecnológico, econômico e social. Contudo, se mal entendida ou se mal apropriada, o risco de nos defrontarmos com possíveis tragédias é muito grande. Portanto, urge a necessidade de ampliar o debate, sobretudo para temas que envolvam a criação de mecanismos de controle, construção de processos que permitam regular todas as ações de maneira imparcial, em que os atores tenham voz e voto, em um ambiente sem preconceitos e rotulações ao ponto de inibir os participantes.

Sabemos que a nanotecnologia está presente, mesmo acompanhada dessas inúmeras incertezas, e que os trabalhadores estão manuseando esses produtos, mas não sabemos se eles possuem o conhecimento necessário sobre a nanotecnologia. Ou se possuem os conhecimentos técnicos necessários para desenvolverem essa atividade com segurança, principalmente porque desconhecemos procedimentos de segurança específicos que garantam um manuseio seguro das nanopartículas, mesmo entre os próprios pesquisadores, quanto mais entre os trabalhadores.

Diante desse descompasso entre a implantação e um possível desconhecimento dos trabalhadores com relação à nanotecnologia, o movimento sindical tem buscado a ajuda de parceiros, como a Fundacentro e o Renanosoma, para investigar qual é o nível de conhecimentos que os trabalhadores têm sobre o tema. Para isso, em 2013, o Sindicato dos trabalhadores metalúrgicos de São Paulo e Mogi das Cruzes desenvolveu duas pesquisas. Uma pesquisa desenvolvida no Seminário<sup>26</sup> específico de nanotecnologia, realizado com a participação da Fundacentro, e com a presença de 113 trabalhadores e outro evento, denominado Encontro de Cipeiros Metalúrgicos de São Paulo (Encimesp)<sup>27</sup>, com a presença de 205 cipeiros, avaliaram o conhecimento dos trabalhadores cipeiros sobre a nanotecnologia. O que se pôde observar nos dois eventos foi um grande desconhecimento sobre o tema.

## ***Conclusão***

Dialogando com o título desse trabalho com relação aos nanomateriais, é possível verificar que o alerta de perigo surge quando, ao alcançar uma determinada dimensão, essas minúsculas partículas mudam seu comportamento, provocando inúmeras incertezas quanto à saúde e à segurança dos trabalhadores, da humanidade e do ecossistema. Assim, para que a humanidade possa se beneficiar das maravilhas da nanotecnologia, deverá tratá-la com precaução, desenvolvendo paralelamente, a cada estudo realizado com o objetivo de conhecer as potencialidades de cada material, estudos específicos destinados a saber também sobre os possíveis impactos negativos à saúde humana e ao meio ambiente, além dos impactos sociais.

---

<sup>26</sup> O Sindicato dos trabalhadores metalúrgicos de São Paulo e Mogi das Cruzes desenvolveu uma pesquisa com 113 trabalhadores realizada, no dia 26/04/2013, aplicada em um seminário de Nanotecnologia, realizado por eles em parceria com a Fundacentro. Participaram neste seminário 392 trabalhadores, sendo que somente 113 responderam o questionário.

<sup>27</sup> Evento realizado pelo Sindicato dos Metalúrgicos de São Paulo, 14º ENCIMESP (encontro de cipeiros metalúrgicos de São Paulo, realizado nos dias 28, 29,30 de agosto de 2014). Cipeiro é a denominação dada ao representante dos trabalhadores na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes, (CIPA)



Assim, estando a nanotecnologia presente em nosso dia a dia, mesmo sem nenhum controle, é urgente que os cidadãos, por meio de organizações sociais, instituem e participem de redes como a Renanosoma, conselhos e comitês, para fazer um controle, provocando o governo para iniciar o processo de construção de uma regulação que trate da nanotecnologia em todo seu processo. Dessa maneira, o movimento sindical, que tem um compromisso histórico quanto às questões da saúde dos trabalhadores, deve preparar quadros, tanto para atuar como conselheiros quanto para atuar na formação de dirigentes de base para conscientizar os trabalhadores dos perigos e cautelas que podem envolver a manipulação de nanopartículas.

## *Referências*

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Panorama Nanotecnologia**. Brasília: ABDI, 2010. Série Cadernos da Indústria ABDI, v. 19.

ARCURI, A. S. A., Dra. em química e pesquisadora da Fundacentro, coordenadora do projeto impactos da nanotecnologia na saúde do trabalhador e meio ambiente. [Entrevista cedida], 27 fev. 2010.

JENSEN, T. F. Economista técnico do Dieese, trabalha na Sub seção do Dieese no Sindicato dos químicos do ABC, tem assessorado os trabalhadores nesse tema de nanotecnologia. [Entrevista cedida]. 20 maio 2015.

MARTINS, P. Dr. em ciências sociais, coordenador da Rede Brasileira de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanossoma). [Entrevista cedida], 25 fev. 2014.

PAUMGARTTEN, F. J. R.; DELGADO, I. F. Repelentes de mosquitos, eficácia para prevenção de doenças e segurança do uso na gravidez. **Revista Visa em Debate**, v. 4, n. 2, maio, 2016.

PLENTZ FILHO, F. O. Coordenador de micro e nanotecnologia, MCTI, Palestra proferida no Workshop Internacional Nanotecnologia e Sociedade na América Latina, promovido pela Rede Latino-americana de Nanotecnologia e Sociedade – (ReLANS), 05 set. 2013.



## *Considerações finais*

*Luis Renato B. Andrade*

**Organizador**

Ao findar este volume, fica a certeza de que, apesar de mais de uma década de atividades, ainda estamos apenas começando. Não se trata de impedir o progresso da tecnologia em geral ou das nanotecnologias em particular. Trata-se de obter um desenvolvimento responsável que leve em conta as preocupações em relação aos impactos sociais, econômicos e o meio ambiente deste progresso.

A lógica embutida no atual modelo de desenvolvimento científico e tecnológico parece ser a de que ele por si só trará também o desenvolvimento social. Esta relação linear, embora muito repetida, não apresenta evidências de que efetivamente ocorra. O simples desenvolvimento tecnológico não promoverá, necessariamente, ganhos sociais, como equidade e justiça. Para isso, serão necessários esforços específicos. Neste sentido, já em 1932, um dos maiores gênios da humanidade, Albert Einstein escreveu:

*Mas a economia liberal não irá resolver automaticamente as próprias crises. Será preciso um conjunto de medidas harmoniosas vindas da comunidade, para realizar entre os homens uma justa repartição do trabalho e dos produtos de consumo. Sem isso, a população do país mais rico se asfixia. Como o trabalho necessário para as necessidades de todos diminuiu pelo aperfeiçoamento da tecnologia, o livre jogo das forças econômicas não consegue sozinho manter o equilíbrio que permita o emprego de todas as forças de trabalho. Uma regulamentação planificada e realista se impõe a fim de se utilizarem os progressos da tecnologia no interesse comum. (EINSTEIN, 1981)*

Muito mais recente, Frank Allgöwer, diretor do Instituto de Teoria de Sistemas e Controle Automático da Universidade de Stuttgart, na

Alemanha, em palestra apresentada na sede da Fapesp no dia 1º de dezembro de 2016, argumentou: “É preciso que pesquisadores da área de humanas supervisionem o que os engenheiros estão construindo”. Foi sob estes pontos de vista e com esta visão que essa coletânea foi produzida. Mantemos firme a convicção de que fomentar o debate, apurar o senso crítico, questionar com base em dados e evidências, promover o engajamento do maior número de pessoas nas decisões sobre como e para quem deve ser feito o desenvolvimento das nanotecnologias é o melhor caminho para que possam ser afastadas nossas macroinquietações, até porque “pequeno não quer dizer seguro”.

## *Referências*

EINSTEIN, A. **Como vejo o mundo**. Trad. H. P. Andrade. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1981. Disponível em: <https://www.epedagogia.com.br/materialbibliotecaonline/3374Como-Vejo-o-Mundo.pdf>. Acesso em: 28 maio 2018.



## *Agradecimentos do organizador*

Individualmente, podemos muito pouco, embora sempre possamos fazer a diferença. Este volume é uma realização coletiva. Assim o mérito, é do grupo. Por outro lado, se algo não estiver a contento, certamente cabe ao organizador assumir sua responsabilidade.

Primeiramente, é importante agradecer a todos e a cada um dos autores dos textos que compõem este livro, pela doação de seus talentos e tempo para nos brindar com seus conhecimentos. Além destes, se impõem por justiça o agradecimento aos membros da equipe do projeto Impactos da nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e meio ambiente, da Fundacentro (servidores desta e colegas de outras instituições), cuja coordenação esteve a cargo da colega e amiga Dra. Arline Sydneia Abel Arcuri. Também agradeço aos demais colegas da Fundacentro que, embora não façam parte direta da equipe do projeto, não mediram esforços para tornar esta publicação possível. Especial destaque deve ser dado ao Setor de Publicações da Fundacentro, na pessoa da colega Me. Glauca de Menezes Fernandes.

Este depoimento não estaria completo sem que fossem especialmente destacados outros amigos e colegas, além de Arline (já mencionada), Dr. Paulo Martins, cuja abnegação à causa é um exemplo para todos nós; Maria de Fátima Torres Faria Viegas (servidora da Fundacentro, lotada no Centro Estadual do Rio de Janeiro) que, mesmo diante de uma agenda carregadíssima, encontrou tempo e disposição para envolver-se diretamente na construção desta publicação; e as colegas Alexandra Rinaldi e Maria Angela Pizzani Cruz, que nos brindaram com preciosas traduções dos textos e currículos dos autores estrangeiros. Cabe ainda a gratidão à Fundacentro como instituição, representada por suas diretorias e a Presidência da Casa, que se mostraram sempre prontas para apoiar esta iniciativa. Por eventuais faltas e omissões, peço sinceras desculpas.

*Luís Renato Balbão Andrade*

*Organizador*





## *Sobre os autores*

Aida Ponce Del Castillo: trabalha no Departamento de Pesquisa no Instituto de União Europeia em Bruxelas, na Bélgica. Nomeada em 2013, é responsável pela segurança e pela saúde ocupacional na unidade de Condições do Trabalho. É ativamente envolvida em pesquisas sobre nanotecnologia, com interesse específico em aspectos regulatórios. É membro de diferentes grupos de trabalho na Europa e em organizações internacionais, como Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, Organização Mundial da Saúde e Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Formada em Direito, possui mestrado em Bioética e doutorado em Direito, pelas universidades de Valencia e Bonn, com foco em Genética Humana (Tradução de Alexandra Rinaldi).

Alexandra Rinaldi: jornalista, Assistente em Ciência e Tecnologia da Fundacentro. Mestre em Sistema Integrado de Gestão. Publicou o livro *A importância da comunicação de riscos para as organizações* (2010), além dos artigos “A comunicação de risco para as organizações” (Revista *Organicom/USP*) e “Comunicação de risco é essencial para as empresas” (Revista *Proteção*). Foi debatedora no VI Seminário Internacional Nanotecnologia Sociedade e Meio Ambiente. Escreveu o artigo “Expectativa de participação dos trabalhadores na construção de ações preventivas quanto aos riscos das nanotecnologias” (Alexandra Rinaldi e colaboradores), publicado no livro *Nato/Otan – Nanomaterials: risks and benefits – developing strategies in Brazil to manage the emerging nanotechnology and its associated risks*.

Alexandre Custódio Pinto: licenciado em Física e mestre em Ciências pela Universidade de São Paulo (USP). Tecnologista aposentado pela da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro), atuou em projetos de Saúde e Educação do Trabalhador; impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores e Comissões de Saúde dos Profissionais da Educação.

Alexandre Malta Rossi: doutor em Física pelo Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), tem pós-doutorado pela Université Joseph Fourier, Grenoble, na França. Pesquisador titular do CBPF, coordena o Laboratório de Biomateriais e de Cultura Celular e Nanotoxicologia da mesma instituição. Bolsista de produtividade do CNPq, tem sua atividade

científica e tecnológica focada em temas como nanomateriais para a medicina regenerativa e liberação de drogas, interação de biomateriais com células e tecidos e toxicidade de biomateriais. Desenvolve projetos de inovação e transferência de tecnologia ao setor privado e hospitalar.

Ana Letícia de Oliveira Franco Rossetto: é graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e possui doutorado em Engenharia Ambiental, também pela UFSC, com estágio doutoral na *Univesité du Québec à Montréal* (UQAM), no Canadá. Atualmente, faz estágio Pós-doutoral no Laboratório de Toxicologia Ambiental (Labtox) da UFSC, atuando principalmente na área de nanotoxicologia de nanomateriais e nanofiltração para remoção de sais e metais pesados para água de abastecimento.

Ana Yara Paulino: é doutoranda na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP), mestre em Ciência Política (USP) e bacharel e licenciada em Ciências Sociais pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP). Membro da Renanosoma, é atualmente assessora sindical em Saúde do Trabalhador e da Trabalhadora no Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese), onde acompanha o Fórum Nacional das Centrais Sindicais em Saúde do Trabalhador (FNCSST). Leciona Introdução às Ciências Sociais e Políticas nos cursos de graduação da Escola Superior de Administração e Gestão (Esags Strong) – certificada FGV, em Santo André (SP). Integra o Conselho Deliberativo do Instituto do Pacto Nacional pela Erradicação do Trabalho Escravo (Inpacto).

Antonio Gracias Vieira Filho: graduado em Ciências Sociais pela Universidade de São Paulo, obteve o mestrado em Ciências Sociais (Antropologia) pela mesma instituição. Entre 2000 e 2007, atuou academicamente voltado aos seguintes temas: antropologia urbana, literatura, religiões e intolerância religiosa. Entre 2008 e 2009, trabalhou no terceiro setor, com a análise de políticas públicas voltadas à certificação profissional e educação de jovens e adultos. Desde 2008, participa do grupo “Impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores” e meio ambiente e foi o roteirista dos três primeiros números da série Nanotecnologia em quadrinhos. Após passagem pela iniciativa privada (2011-2014), tem se dedicado à reflexão sobre as transformações do mundo do trabalho e os efeitos dos processos de acumulação flexível sobre o cotidiano dos trabalhadores.

Arline Sydnéia Abel Arcury: bacharel e licenciada em Química. Doutora em Ciências, Área de concentração: Físico-Química, Instituto de Química da USP. Pesquisadora da Fundacentro envolvida há mais de 10 anos com o tema dos impactos das nanotecnologias na saúde dos trabalhadores e meio ambiente.

Bianca Vicente Oscar: mestre em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Trabalhando atualmente com a inserção de nanomateriais em componentes da construção civil. Pós-graduanda em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul). Engenheira sanitária e ambiental formada pela UFSC. Técnica em Meio Ambiente e Saneamento pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

César Koppe Grisolia: bacharel em Ciências Biológicas pela Universidade de São Paulo (1981). Mestrado em Genética pela Universidade de São Paulo (1985) e doutorado em Genética pela Universidade de São Paulo (1991). Pós-doutorado em Ecotoxicologia, no Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro (Portugal, 2008). Professor titular do Departamento de Genética e Morfologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de Brasília. Pesquisas relacionadas com ecotoxicologia, ecogenotoxicologia, mutagênese química e genética humana. Credenciado nos programas de pós-graduação em Patologia Molecular, Bioética e Biologia Animal, na Universidade de Brasília. Coordenador da Rede Centro-Oeste de Nanotoxicologia Aquática, financiado do MCTI/CNPq. Pesquisador CNPq-1D.

Cristiane Funghetto Fuzinato: é professora adjunta da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), campus Erechim/RS. Tem doutorado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na área de concentração de Toxicologia Ambiental. Possui pós-doutoramento pela UFSC na área de concentração de Nanotoxicologia Ambiental. Atualmente, desenvolve atividades relacionadas com a investigação da toxicidade de nanotecnologias ambientais e a avaliação de efeitos agudos, crônicos, genotóxicos e mutagênicos de organismos aquáticos após a exposição a diferentes contaminantes ambientais.

David M. Berube: docente em Comunicação em Ciência e Tecnologia, Departamento de Comunicação, Universidade Estadual da

Carolina do Norte (NCSU), diretor do Projeto de Comunicação e Ciências Públicas e Tecnologia (PCOST), diretor de Implicações Sociais e Éticas da Nanotecnologia (Sein) na Rede de Pesquisa em Nanotecnologia Triângulo (RTNN). Docente do Departamento de Engenharia Genética na Sociedade (GES) – Universidade Estadual da Carolina do Norte (NCSU). Membro do Comitê governamental consultivo sobre comunicação de risco dos Estados Unidos *Food and Drug Administration* (FDA). Graduado em Psicologia e Biologia (1975 – Universidade *Seton Hall – New Jersey – USA*). Mestre em Comunicação Oral (1978 – *Montclair State College – New Jersey – USA*). Doutor em Filosofia pela Escola de Graduação em Artes e Ciências da Comunicação (1990 – Universidade de Nova York). Professor de Comunicação em Ciência e Tecnologia na Universidade da Carolina do Norte.

Denice Schulz Vicentini: possui graduação em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSC. Atua como pesquisadora no Laboratório de Toxicologia Ambiental da UFSC. Tem experiência na área de química de materiais, com ênfase na síntese, na caracterização e nas aplicações de nanomateriais e avaliações toxicológicas.

Fernando Gonçalves Amaral: engenheiro civil, mestre em Ergonomia pela *Université Catholique de Louvain* (UCL), Bélgica, em 1992. Mestre em Ergonomia pela *École Pratique des Hautes Études*, na França em 1995. Doutor em Ergonomia pela *Université Catholique de Louvain* (UCL), na Bélgica em 1999. Atualmente, é professor-associado da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e orientador de mestrado e doutorado no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Publicou diversos artigos em periódicos especializados e trabalhos em anais de eventos, sendo orientador de mestrado e doutorado nas áreas de Engenharia de Produção, Ergonomia, Segurança do Trabalho, Saúde Coletiva e Administração. Atua na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Ergonomia, realizando trabalhos de pesquisa em diversas empresas na região sul do Brasil.

Foteini Psarra (M.Sc.): é pesquisadora sênior do Consultoria Systasi em Políticas de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, Grécia. Desde 2001, tem se envolvido em vários projetos regionais e nacionais, além de projetos europeus, acumulando considerável experiência e conhecimento em diversas áreas, como o impacto da comunicação

científica sobre a percepção das pessoas. Participou do desenvolvimento do material de treinamento, criado com o objetivo de melhorar a efetividade da comunicação entre cientistas e jornalistas, nas questões referentes aos componentes do risco. Atualmente, dedica-se a integrar os conceitos e práticas entre o *Responsible Research and Innovation* e as agendas em níveis regionais, nacional e europeu (tradução de Alexandra Rinaldi).

Gilson Luiz de Oliveira Lima: Doutor em Sociologia (Metodologias Informacionais) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor da Universidade de Santa Cruz do Sul (Unisc). Pesquisador industrial e cientista independente. Músico e inventor. Pesquisador e membro pesquisador da Rede Nanosoma (Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente). Pesquisador CNPq (aposentado). Pesquisador do Centro de Estudos e Difusão de Conhecimento, Inovação e Sustentabilidade (Cedcis) e pesquisador do Laboratório de Difusão de Ciência, Tecnologia e Inovação Social (Ladcis). Colaborador do Núcleo de Violência e Cidadania do Programa de Pós-graduação em Sociologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Pesquisador do *Research Committee of the Clinical Sociology Association International Sociological (ISA)*. Pesquisador Colaborador do Núcleo de Robótica Social.

Guillermo Foladori: Antropólogo e doutor em Economia. Tem trabalhado em universidades do México, de Honduras, da Nicarágua, do Brasil e do Uruguai, e nos EUA, como pesquisador convidado. Atualmente, trabalha como professor do Doutorado em Estudos do Desenvolvimento da Universidad Autónoma de Zacatecas, México e é membro do Sistema Nacional de Investigadores (Conacyt). Desde 2005, pesquisa sobre as implicações sociais e ambientais das nanotecnologias e é cocoordenador da Rede Latinoamericana de Nanotecnologia e Sociedade ([www.relans.org](http://www.relans.org)). Tem coeditado vários livros sobre nanotecnologia, sendo os últimos *Nanotecnologías en América Latina: trabajo y regulación* (Editora MAPorrúa, México, 2015) e *Investigación y mercado de nanotecnologías en América Latina* (Editora MAPorrúa, México, 2016).

Ineke Malsch (Dr.): aconselha e escreve sobre o desenvolvimento responsável de tecnologias emergentes no contexto social, com ênfase nos aspectos éticos. Desde 1999, é diretora do *Malsch Techno-Valuation*, consultoria em tecnologia e sociedade, sediada em Utrecht,

Holanda. É graduada em Física, pela *Utrecht University* (1991) e possui doutorado em filosofia pela *Radboud University, Nijmegen* (2011), com a tese Ética e Nanotecnologia – desenvolvimento responsável em nanotecnologia em nível global no século XXI (<http://repository.uibn.ru.nl/handle/2066/91234>). Participa de projetos da União Europeia sobre desenvolvimento da nanotecnologia responsável desde 2002 e está atualmente envolvida no projeto *Nano2all* (tradução de Alexandra Rinaldi).

Jorge Marques Pontes: filósofo, especialista e mestre em gestão e políticas públicas, é interessado pelo tema de tecnologias emergentes e sua relação com a precarização social do trabalho. Servidor da – Fundacentro/ME. Membro da Associação Filosófica *Scientiae Studia* de Estudos sobre Ciência e Tecnologia formada por professores, pesquisadores e estudantes do programa de pós-graduação do Departamento de Filosofia da USP. Integrante de grupo de pesquisa em Filosofia da Ciência dessa associação.

José María Monserrat: formado com honras em Ciências Biológicas pela Universidade de Buenos Aires, em 1988. Fez mestrado em Bioestatística, pela mesma universidade, tendo defendido a tese em 1993. Concluiu o doutorado em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande (Furg) em 1997. Em 2013, concluiu o pós-doutorado em Metabolômica no *National Institute of Standards and Technology* (NIST) em Charleston, Estados Unidos. Publicou 144 artigos em periódicos especializados e oito capítulos de livros na área de Estresse Oxidativo em Organismos Aquáticos, Quimioprevenção de Compostos Tóxicos e Nanotoxicologia (2.418 citações, base de dados: Scopus; índice/h: 27). Professor-associado na Universidade Federal do Rio Grande (Furg), lotado no Instituto de Ciências Biológicas (ICB). Professor permanente nos programas de pós-graduação de Aquicultura e de Ciências Fisiológicas – Fisiologia Animal Comparada. É avaliador de projetos científicos submetidos a agências nacionais e estrangeiras e revisor científico em mais de 40 revistas internacionais e membro do corpo editorial das revistas *Acta Toxicológica Argentina* e *Chemistry and Ecology*.

José Mauro Granjeiro: graduado em Odontologia pela Universidade de São Paulo, mestre em Biologia Celular e Estrutural e doutor em Química, ambos pela Universidade Estadual de Campinas, com pós-doutorado em Biologia Celular e Molecular pelo Instituto de Química da USP. No Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia



(Inmetro), é pesquisador sênior e coordena a área de Bioengenharia. Na Faculdade de Odontologia da Universidade Federal Fluminense (UFF), é professor adjunto. É bolsista de produtividade 1B do CNPq e atua na área de Biologia Óssea, Biomateriais e Bioengenharia, com foco em biocompatibilidade de materiais, terapia celular, reparo tecidual, métodos alternativos ao uso de animais e nanotoxicologia. Atualmente, coordena a Rede Nanotox e o grupo de pesquisadores brasileiros no consórcio Europeu NanoReg (FP7).

José Renato Schmidt: graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (2007), pós-graduado em Engenharia de Segurança do Trabalho na Estácio de Sá (2009). Atualmente é mestre e doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC, atuando como tecnologista, na função de engenheiro de segurança do trabalho, na Fundacentro desde 2012.

Karine Goulart de Oliveira: engenheira de Aquicultura/UFSC. Mestre em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Título do Projeto de Dissertação: “Preparação, caracterização, e avaliação toxicológica de membranas de nanofiltração”. Atividades Desenvolvidas no Laboratório: preparação de membranas de polissulfona e quitosana; manipulação de nanotubos de SiO<sub>2</sub>; testes toxicológicos de nanotubos de SiO<sub>2</sub> com *Daphnia magna* e testes toxicológicos de nanotubos de SiO<sub>2</sub> com células da linhagem Vero.

Laura Alicia Geracitano Monserrat: pesquisadora argentina, possui graduação em Ciências Biológicas – *Universidad de Buenos Aires* (1992), mestrado em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande (1998) e doutorado em Oceanografia Biológica pela Universidade Federal do Rio Grande (2003). Atualmente, é CEO da empresa Reunire Scientia. Tem experiência na área de Bioquímica, com ênfase em Poluição Ambiental, além de experiência na área de Educação em Ciências, Divulgação e Transmissão de Conhecimento à Sociedade na área de Nanociências, Organização de Congressos e Cursos Online. Publicou 41 artigos com 631 citações (citações médias por artigos de 15,39) no *Web of Science* – ISI, índice-H: 13.

Luís Carlos de Oliveira: Aos 14 anos de idade começou a trabalhar em uma metalúrgica como aprendiz e aos 15 iniciou um curso profissionalizante de torneiro mecânico, atividade que desenvolve até os dias de hoje. Nos anos 1980, iniciou atividades sindicais e, nos dias



de hoje, como sindicalista, ocupa o cargo de diretor da executiva do Sindicato dos Metalúrgicos de São Paulo. Responde pelo Departamento de Saúde e segurança do Trabalhador, além de ser secretário adjunto da Secretaria de Segurança do Trabalhador da Força Sindical. Entre agosto de 2012 a setembro de 2015, frequentou o primeiro curso de Ciências do Trabalho, da Escola Dieese, escolhendo como objeto de estudo os possíveis impactos da nanotecnologia na saúde do trabalhador. Em 18 de setembro de 2015, colou grau, recebendo o título de bacharel em Ciências do Trabalho.

Luís Renato Balbão Andrade: possui graduação em Engenharia de Minas (UFRGS – 1988); especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho (PUC/RS – 1988); mestrado em Administração com ênfase em Planejamento e Gestão de Ciência e Tecnologia (UFRGS – 1996); e doutorado em Engenharia de Produção (UFRGS – 2013). Desde 1988, é servidor da Fundacentro/UDRS e, atualmente, ocupa o cargo de tecnologista sênior III, desenvolvendo pesquisa sobre os impactos das nanotecnologias sobre a segurança e a saúde no trabalho. Neste campo, desenvolveu seu doutorado, cuja tese intitula-se “Sistemática de Ações de Segurança e Saúde no Trabalho para Laboratórios de Pesquisa com Atividades de Nanotecnologia (UFRGS/2013)”. Anteriormente, trabalhou com a promoção da segurança e da saúde no trabalho em micro e pequenas empresas, tendo coordenado um projeto nacional nesta área.

Maria de Fátima Torres Faria Viegas: médica com especialização em Pediatria, atuando nas áreas de Terapia Intensiva Neonatal e Pediátrica, com residência médica em Pediatria e Patologia Clínica no Hospital dos Servidores do Estado/RJ. Possui especialização também em Medicina do Trabalho pela Universidade do Rio de Janeiro (Unirio). Tecnologista da Fundacentro do Rio de Janeiro desde 2005, Mestre em Saúde Pública na Ensp/Fiocruz/RJ, e doutorando na mesma instituição com temática voltada para os impactos das nanotecnologias na saúde e segurança do trabalhador.

Maria Fernanda Marques Fernandes: assessora de comunicação da Editora Fiocruz, tem graduação em Jornalismo pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), especialização em História Contemporânea pela Universidade Candido Mendes, mestrado e doutorado em História da Ciência e das Técnicas e Epistemologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Mey Rose de Mello Pereira Rink: engenheira Civil. Engenheira de Segurança do Trabalho, Ergonomista, Pesquisadora aposentada da Fundacentro/UDPR. Trabalhou no Projeto Nacional de Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção, desenvolveu projeto de pesquisa Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Construção em Curitiba e Londrina, desenvolveu o projeto de pesquisa Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria Moveleira em Arapongas e desenvolveu uma metodologia de treinamento sobre segurança e saúde no Trabalho para os catadores de material reciclável. Atua no projeto Possíveis impactos de nanotecnologia na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente.

Miriam Arl: bacharel em biologia, formada pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 2014, mestre em Engenharia Ambiental pela mesma universidade. No momento, desenvolve um estudo sobre toxicologia e presença de nanomateriais metálicos em tintas de tatuagem.

Naiara Mottim Justino: graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Trabalha na área de desenvolvimento e avaliação toxicológica de membranas nanocompósitas para remoção de sais. Vínculo: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina.

Noela Invernizzi: Antropóloga e doutora em Política Científica e Tecnológica. Trabalha no Setor de Educação e no Programa de Pós-graduação em Políticas Públicas da Universidade Federal do Paraná. Foi pesquisadora pós-doutoral no *Consortium for Science, Policy and Outcomes*, da Universidade de Columbia, EUA; professora do Doutorado em *Estudios del Desarrollo da Universidad Autónoma de Zacatecas*, México; e *fellow* no Programa de Ciência, Tecnologia e Inovação do *Woodrow Wilson Center for International Scholars, Washington DC*, EUA. Suas pesquisas têm abordado as implicações das novas tecnologias para o emprego e a qualificação da força de trabalho. Atualmente, investiga sobre as políticas de estímulo à nanotecnologia e sobre as implicações sociais dessas tecnologias. É coordenadora da Rede Latino-americana de Nanotecnologia e Sociedade. Publicou diversos artigos, livros e capítulos sobre essas temáticas.

Paulo R. Martins: Sociólogo (1977), Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de 1986 a 2011. Mestre em Desenvolvi-

mento Agrícola (1990), doutor em Ciências Sociais (2000). Fundador e Coordenador da Rede Brasileira de Pesquisas em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma) (2004-2016), diretor e apresentador de dois programas de TV pela internet, “Nanotecnologia do Avesso” e “Nano Alerta” (2009-2016). Coordenador do 12º Seminário Internacional Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Seminanosoma). Coordenou e organizou livros sobre nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. Publicou diversos textos sobre nanotecnologia.

Patrícia Moura Dias: bacharel em Química pelo Instituto de Química da USP (IQ-USP, 1997), no qual obteve também as atribuições em Química Industrial e Química Biotecnológica. Doutora em Química (área de concentração: Química Inorgânica) pela mesma instituição (2004), em trabalho de pesquisa que versou sobre o preparo e a caracterização (estrutural e espectroscópica) de sistemas argila-porfirina. Atualmente, é tecnologista vinculada à Fundacentro – Fundação Jorge Duprat Figueiredo, de Segurança e Medicina do Trabalho. As principais atividades desenvolvidas versam sobre a prevenção da exposição ocupacional ao benzeno e os novos riscos ocupacionais decorrentes do trabalho com nanomateriais e nanopartículas. É a atual coordenadora do Laboratório de Microscopia, Gravimetria e Difractometria de Raios X da Fundacentro. Tem pós-doutorado pelo Instituto de Química da Universidade da São Paulo.

Raquel von Hohendorff: doutora e mestre em Direito Público pelo Programa de Pós-graduação em Direito da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos). Participante do grupo de pesquisa Jusnano (CNPq/Unisinos), é delegada da Escola Superior de Advocacia da OAB/RS junto à subseção de São Leopoldo. É conselheira Municipal do Meio Ambiente em São Leopoldo e membro da Comissão de Cultura da Seccional São Leopoldo da OAB. Possui especialização em Direito do Trabalho pela Unisinos, com atuação na área trabalhista preventiva, especialmente voltada para a saúde, a segurança e o meio ambiente do trabalho. Tem graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1998), bacharelado em Ciências Jurídicas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (2009) e mestrado em Ciências Veterinárias pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2003).

Reginaldo Pereira: doutor em Direito pela UFSC. Professor do PPGD em Direito da Unochapecó. Coordenador do Grupo de Pesquisa

Direito, Democracia e Participação Cidadã da Unochapecó. Membro da Renanosoma.

Rodrigo Costa Puerari: graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), realizou trabalho de conclusão de curso na área da nanotoxicologia. Atualmente, cursa doutorado em Engenharia Ambiental pela mesma universidade no desenvolvimento e na avaliação toxicológica de membranas poliméricas incorporadas com nanomateriais para dessalinização e remoção de metais pesados de águas residuárias. Também faz especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul).

Silvia Pedroso Melegari: é professora adjunta da Universidade Federal do Paraná (UFPR), campus Pontal do Paraná. É doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na área de concentração de Toxicologia Ambiental. Possui pós-doutoramento pela UFSC e pela *Université du Québec à Montreal*, no Canadá, na área de concentração de Nanotoxicologia Ambiental. Atualmente, desenvolve atividades de pesquisa relacionada com o desenvolvimento e a investigação da toxicidade de nanotecnologias ambientais.

Tania Elias Magno da Silva: socióloga, mestre e doutora em Ciências Sociais, membro da Renanosoma, é professora aposentada da Universidade Federal de Sergipe, vinculada ao Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Sociologia – Doutorado e Mestrado da UFS. Desde 2005, é colaboradora voluntária, coordenadora do Grupo de Pesquisas Itinerários Intelectuais, Imagem e Sociedade, cadastrado no CNPq, membro da International Sociological Association (ISA), da Associação Latinoamericana de Sociologia (Alas) e da Sociedade Brasileira de Sociologia (SBS). Tem publicados artigos e capítulos de livros, além de ser organizador de livros sobre nanotecnologia, sociedade e meio ambiente.

Thomaz Ferreira Jensen: economista, graduado pela Faculdade de Economia da USP. Desde julho de 2007 trabalha como assessor técnico do DIEESE (Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos), atuando atualmente na Escola DIEESE de Ciências do Trabalho. É membro da Rede Social de Justiça e Direitos Humanos, da Associação Brasileira de Reforma Agrária (ABRA) e membro-fun-

dador da Sociedade Latino-americana de Economia Política (SEPLA). É autor de estudos e artigos sobre temas relacionados ao mundo do trabalho e desempenho setorial, particularmente na indústria química. *Contato: thomaz@dieese.org.br*

Valéria Ramos Soares Pinto: Engenharia química, com especialização em engenharia de segurança do trabalho e mestre em Engenharia de Produção. Possui experiência em riscos e seguros e segurança do trabalho. Tecnologista da Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (Fundacentro), atuando na área de segurança química.

William Gerson Matias: possui graduação em Engenharia Sanitária-ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (1987), mestrado (DEA) em *Toxicologie de l'Environnement – Université de Metz* (1993) e doutorado em Toxicologia Ambiental – *Université de Bordeaux II* (1996). Pós-doutorado na *Université du Québec à Montreal em Nanotoxicologia* (2010). Atualmente, é professor-associado da Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. É conselheiro na Câmara de Pós-graduação e Conselho Universitário da UFSC. Tem experiência na área de Engenharia Sanitária e Ambiental, com ênfase em Qualidade da Água e Toxicologia Ambiental, atuando principalmente nos temas de toxicidade de efluentes e águas naturais, genotoxicidade, florações de algas tóxicas, biotoxinas marinhas, análise de risco toxicológico e nanotoxicologia.

William Waissmann: possui graduação em Medicina pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) (1982); residência médica em Endocrinologia e Metabologia (1986), pelo Hospital Universitário Pedro Ernesto, especialização em Nutrologia (1984), pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro; e mestrado (1993) e doutorado (2000), em Saúde Pública, pela Fundação Oswaldo Cruz. *Fellow* no *Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health/Mount Sinai School of Medicine* (2010). É pesquisador aposentado da Fundação Oswaldo Cruz e membro do *Nanoh Developing Group* de assessoria da Organização Mundial da Saúde na área de nanotecnologias. Dedicar-se à endocrinologia/metabologia e à nutrologia clínica, incluindo efeitos de substâncias químicas sobre o sistema endócrino. Orientou 30 dissertações e teses e possui mais de duas centenas de publicações, entre livros,

capítulos de livros, artigos e apresentações em eventos. É membro titular da Academia de Medicina do Estado do Rio de Janeiro.

Wilson Engelmann: doutor e mestre em Direito Público pelo Programa de Pós-graduação em Direito (Mestrado e Doutorado) da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos (RS). É professor deste mesmo programa nas atividades: “Transformações Jurídicas das Relações Privadas” (Mestrado) e “Os Desafios das Transformações Contemporâneas do Direito Privado” (Doutorado); coordenador executivo do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios da Unisinos; líder do Grupo de Pesquisa Jusnano (CNPq); e bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq.

---

**Sobre o livro**

Composto em Times New Roman 11 (textos)  
Formato 16x23 cm

---



Rua Capote Valente, 710  
São Paulo - SP  
05409-002  
tel.: 3066-6000

[www.fundacentro.gov.br](http://www.fundacentro.gov.br)

ISBN 978-85-92984-19-9



9 788592 984199