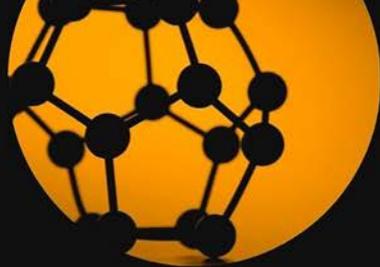


Wilson Engelmann
(Coordenador)

Paulo Roberto Martins
Maria Fernanda Marques Fernandes
(Organizadores)



NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE





WILSON ENGELMANN
(COORDENADOR)

PAULO ROBERTO MARTINS
MARIA FERNANDA MARQUES FERNANDES
(ORGANIZADORES)

NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE

DOI 10.29327/539142

CASA LEIRIA
SÃO LEOPOLDO/RS
2021

NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE

Coordenador: Wilson Engelmann.

Organizadores: Paulo Roberto Martins
Maria Fernanda Marques Fernandes.

Revisão: Eliana Rose Müller.

Os textos são de responsabilidade de seus autores.

Qualquer parte desta publicação pode ser reproduzida,
desde que citada a fonte.

EDITORA CASA LEIRIA

CONSELHO EDITORIAL

Ana Carolina Einsfeld Mattos (UFRGS)

Ana Patrícia Sá Martins (UEMA)

Antônia Sueli da Silva Gomes Temóteo (UERN)

Glícia Marili Azevedo de Medeiros Tinoco (UFRN)

Haide Maria Hupffer (Feevale)

Isabel Cristina Arendt (Unisinos)

Isabel Cristina Michelan de Azevedo (UFS)

José Ivo Follmann (Unisinos)

Luciana Paulo Gomes (Unisinos)

Luiz Felipe Barboza Lacerda (UNICAP)

Márcia Cristina Furtado Ecoten (Unisinos)

Rosângela Fritsch (Unisinos)

Tiago Luís Gil (UnB)

Ficha catalográfica

N186 Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente [recurso eletrônico] / Coordenação Wilson Engelmann; organização Paulo Roberto Martins, Maria Fernanda Marques . – São Leopoldo: Casa Leiria, 2021.

Disponível em: <<http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/direito/nanotecnologiasociedade/index.html> >

Conteúdo bilíngue: português – espanhol.

ISBN 978-65-89503-12-5

1. Direito – Nanotecnologia – Aspectos sociais. 2. Nanotecnologia – Legislação – Direito ambiental. 3. Nanotecnologia – Aspectos morais e éticos. I. Engelmann, Wilson (Coord.). II. Martins, Paulo Roberto (Org.). III. Fernandes, Maria Fernanda (Org.).

CDU 34:66-965

Bibliotecária: Carla Inês Costa dos Santos – CRB 10/973

NANOTECNOLOGIA, SOCIEDADE E MEIO AMBIENTE

SUMÁRIO

9 **Prefácio**
Wilson Engelmann

13 **Apresentação**
Maurício Berger

PARTE 1: NANOTECNOLOGIA E REGULAÇÃO

23 **Nanotecnologia e regulação: estamos no caminho certo?**
Wilson Engelmann

PARTE 2: NANOTECNOLOGIA E TRANSDISCIPLINARIDADE

35 **Nanotecnologias e a pandemia da Covid-19: transdisciplinaridade e metamorfoses**
Raquel Von Hohendorff

43 **Condições de trabalho dos agentes de combate a endemias durante a pandemia da Covid-19**
Ana Yara Paulino

53 **Síntese**
Gláucia Nascimento de Souza

PARTE 3: NANOTECNOLOGIA, PANDEMIA E TRABALHO

59 **Nanotecnologia, Covid-19 e trabalhadores**
Arline Sydneia Abel Arcuri

69 **Formação sindical e incorporação de progresso técnico: análise de uma experiência com nanotecnologias no Brasil**
Thomaz Ferreira Jensen

79 **Questões postas pelo uso intensivo da nanopata**
Valéria Ramos Soares Pinto

89 **Síntese**
Eduardo Martinho Rodrigues

PARTE 4: NANOTECNOLOGIA, C&T E DEMOCRACIA

95 **Ciência regulatória e ciência da precaução: de comitês de especialistas para comunidades especializadas na regulação das nanotecnologias na Argentina**
Maurício Berger

- 107 El desahucio del vínculo social en el neoliberalismo y su expresión actual en la investigación científica sobre el Covid-19**
José Manuel Rodríguez Victoriano
- 115 Uso dos recursos públicos de forma democrática na produção de conhecimentos sobre nanotecnologia: o que seria isso?**
Paulo Roberto Martins
- 123 Síntese**
Elisa Kayo Shibuya
- PARTE 5: NANOTECNOLOGIA E DESAFIOS EM SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO
- 131 Relação entre teoria social e estudos sobre tecnologias no Brasil**
Adriano Premebida
- 139 Control Banding: conceito e aplicações práticas para nanomateriais**
Luís Renato Balbão Andrade
- 149 Novas abordagens sobre análise de perigo e riscos devido às nanotecnologias**
José Renato Schmidt
- 161 Síntese**
Paulo Roberto Martins
- PARTE 6: TECNOLOGIAS E SOCIEDADE: TEORIA SOCIAL, AGRICULTURA E SAÚDE
- 169 Muito além do reino de Lilipute: nanotecnologia – quando o tamanho é importante**
Tania Elias Magno da Silva
- 181 Nanopesticidas: introducción a los productos encapsulados y marcos para evaluar sus riesgos para la salud ambiental y humana**
Steve Suppan
- 189 Inovações tecnológicas em saúde: as nanotecnologias e suas possibilidades**
Jorge M. Pontes
- 197 Síntese**
Paulo Roberto Martins

PREFÁCIO

A organização deste livro integra o projeto de pesquisa intitulado “A autorregulação da destinação final dos resíduos nanotecnológicos”, que foi aprovado no âmbito do Edital 02/2017 – Pesquisador Gaúcho, da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS.

Os diversos textos servem para aprofundar a concretização do objetivo geral do citado projeto, especialmente a seguinte parte: “[...] desta forma, se terá condições de fornecer subsídios jurídicos para desenvolver a gestão dos riscos nanotecnológicos e do *nanowaste*, assegurando a preservação de responsabilidade futura do setor produtivo à base de nanotecnologias, além de buscar caminhos para proteger o trabalhador e o consumidor, e lidar com danos futuros incertos e desconhecidos”. Os diversos pesquisadores que estiveram no XVII Seminário Internacional sobre Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente – Seminanosoma, realizado entre os dias 4 e 6 de novembro de 2020¹, auxiliaram no aprofundamento da pesquisa que o pesquisador responsável vinha conduzindo. Esses especialistas contribuíram para se realizar uma espécie de grande grupo focal transdisciplinar que auxiliou no recolhimento de subsídios para o prosseguimento da pesquisa, especialmente para a confirmação da hipótese que buscava responder ao problema de pesquisa: há diversas publicações e em diversos formatos (artigos científicos, artigos em jornais e outras mídias) dando conta de questões preocupantes no tocante às nanotecnologias, especialmente como “Como gerir melhor os riscos de nanoma-

1 Programação completa está disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BTHjc6OFrFQ>.

teriais”.² As partículas ultrafinas ou nanopartículas podem ter três origens: a) naturais (cinzas vulcânicas, pulverização etc.); b) de atividade humana não intencionalmente voltada à geração das partículas em nanoescala (partículas emitidas durante o aquecimento, o transporte, a indústria etc.) ou c) são produzidas deliberadamente (aqui se encontram os nanomateriais manufaturados). Elas apresentam pelo menos uma dimensão entre 1 e 100 nanômetros, que equivale à bilionésima parte de um metro, equivalendo à notação científica de 10^{-9} . Esse tamanho nano dá a esses materiais diversas propriedades particulares que podem ser físicas, químicas, eletromagnéticas, ópticas ou biológicas, em particular uma elevada reatividade com respeito às moléculas biológicas, tais como proteínas. Surgem questões relativas à exposição a estas partículas, destacadamente os trabalhadores, os consumidores e o meio ambiente.³ Na mesma linha encontram-se as pesquisas de Antonietta M. Gatti e Stefano Montanari.⁴ Uma publicação do jornal *The Guardian* fazia a seguinte provocação: “Nano: uma opção mais limpa? A nanotecnologia poderia arrumar o planeta sem deixar resíduos perigosos?”.⁵ Aqui se tem a preocupação com o nanolixo ou o *nanowaste*. Estas são duas perguntas intrigantes e, neste momento, ainda de difícil resposta. Considerando que as áreas exatas ainda não conseguem respondê-las, como poderá ser a postura do Direito? Aguardar, no tradicional estilo de que primeiro se deverá ter um fato (um desastre?) para depois se pensar em regulação? Ou se poderia planejar uma atitude mais propositiva e inovadora, projetando caminhos para a juridicização dos fatos nanotecnológicos, sem a intervenção do Poder Legislativo? No panorama destas perguntas norteadoras, o **problema** que este projeto pretende enfrentar poderá ser as-

2 Publicado em 29 de maio de 2017 e disponível em: <http://www.processaliminaire.com/Qualite/Comment-mieux-gerer-le-risque-nanomateriaux-31290>.

3 Publicado em 29 de março de 2017 e disponível em: <http://www.cancer-environnement.fr/402-Nanomateriaux.ce.aspx>.

4 GATTI Antonietta M.; MONTANARI, Stefano. **Case studies in nanotoxicology and particle toxicology**. London: Elsevier, 2015.

5 Publicado em 18 de outubro de 2013 e disponível em: https://www.theguardian.com/what-is-nano/nano-a-cleaner-option?CMP=share_btn_link.

sim delineado: como os documentos elaborados pela OECD poderão servir para estruturar modelos de autorregulação, voltados à gestão dos riscos trazidos pelo nanolixo (*nanowaste*), num espaço iluminado pelos princípios destacados por meio do *NanoAction*, a partir das contribuições dos elementos do Pluralismo Jurídico proposto por Gunther Teubner? Para estruturar a **hipótese**, será preciso considerar que a era nanotecnológica é uma realidade, sendo que diversos produtos e materiais manipulados em escala nano já fazem parte do nosso cotidiano. Desta forma, a nanotecnologia aparece diariamente na vida em sociedade, aplicada nos seguintes setores: agricultura, cosméticos, automotivo, eletrônicos, construção, ambiental, alimentício, aparelhos domésticos, medicina, petróleo, energias renováveis, esportes e *fitness*, têxtil, materiais para impressão, entre outros, segundo inventário realizado pelo *Nanotechnology Products Database* (NPD). Segundo a NPD, em dados de 16 de maio de 2021, foram inventariados 9.144 produtos à base de nanotecnologias, produzidos por 2.607 empresas, que se encontram em 64 países.⁶

Contudo, mesmo as nanotecnologias apresentando um grande potencial benéfico e de evolução em prol da humanidade (destacando-se, por exemplo, o uso da nanotecnologia para tratar o câncer resistente à terapia, produção de vacinas à temperatura ambiente, a utilização da nanotecnologia para analisar, através do hálito, a detecção de câncer e outras dezesseis doenças, entre outras aplicações muito úteis para melhorar a vida das pessoas), o risco é algo presente e observado atentamente pelos pesquisadores, o que deverá despertar a atenção do Direito. Observa-se que o Direito ainda tem dificuldades para lidar com o risco e o tratamento dos possíveis danos futuros. Verifica-se um espaço interessante para a estruturação de um *Direito dos riscos*: “Los programas y las obligaciones procedimentales de definir programas son importantes para el Derecho de los riesgos. Estos tienen una función de dirección de la discrecionalidad y se parecen, de esa forma, a los reglamentos que concretan normas. Aquí se hace evidente cómo la práctica genera nuevas formas de racionalización de

6 Disponível em: <http://product.statnano.com>. Acesso em: 16 maio 2021.

los márgenes de decisión a los que pueden conectarse la dogmática y los controles. [...]”⁷. Esse *Direito dos riscos* deverá lidar com a destacada ambivalência das nanotecnologias: a concomitância dos benefícios e a probabilidade de gerar danos futuros e incertos. Com estes parâmetros se projeta a seguinte hipótese: a possibilidade de utilização dos materiais sobre *nanowaste*, ou destinação final de resíduos nanotecnológicos, da organização internacional OECD, para compor modelos autorregulatórios à gestão dos riscos, tomando como sustentação os elementos do Pluralismo Jurídico de Teubner para dar materialidade aos princípios trazidos pela *NanoAction*, acrescidos aos princípios e regras que se encontram no sistema jurídico brasileiro para conectar a estrutura principiológica nas regras que já os trazem na sua composição, embora sem uma referência expressa às nanotecnologias.

Portanto, os textos que se apresentam a seguir são o resultado das discussões realizadas ao longo do Seminário Internacional e se integram como um produto concreto produzido no contexto do projeto de pesquisa fomentado pela FAPERGS.

Por isso, se agradece ao conjunto de atores e também à FAPERGS pelo apoio financeiro na elaboração do presente livro, desejando-se uma proveitosa leitura.

Prof. Dr. Wilson Engelmann,
Escola de Direito da Unisinos, RS, Brasil.

7 FRANZIUS, Claudio. Autorregulación regulada como estrategia de coordinación. In: GARDELLA, M. *et al.* **Estrategias del Derecho ante la incertidumbre y la globalización**. Madrid: Marcial Pons, 2015. p. 231.

APRESENTAÇÃO

A Rede Brasileira de Pesquisas em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma) iniciou suas atividades nos dias 18 e 19 de outubro de 2004. O “registro de nascimento” foi redigido pela Agência FAPESP em comunicado de outubro de 2004 “Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente, 22 de outubro de 2004, Agência FAPESP”. O primeiro Seminário Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente foi realizado esse ano na Universidade de São Paulo (USP).

O dito popular mineiro estampado no cartaz do 1º Seminário ajudava a traduzir o espírito de um grupo de pesquisadores oriundo das ciências sociais: “Se atalho fosse bom, não precisava de estrada.” Segundo o sociólogo Paulo Roberto Martins, naquele tempo pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) – principal idealizador do evento – coordenador de Rede Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente até hoje –, “no caso específico da nanotecnologia e de suas aplicações no mundo moderno o Brasil ainda está usando apenas o atalho. Usamos essa frase porque, no nosso entendimento, enquanto as ciências humanas não estiverem incorporadas aos estudos sobre nanotecnologia, estamos no atalho. A inclusão é necessária para que a estrada do conhecimento de nanotecnologia no Brasil possa ser construída”.

Durante os dois dias daquele primeiro seminário, todos os pesquisadores presentes mostraram a importância de que os impactos positivos e também negativos da nanotecnologia, que está sendo considerada a quinta revolução industrial, sejam corretamente avaliados. Desde então, a realização dos “Seminanosoma” conta em sua trajetória com dezessete edições anuais, todas com suas respectivas publicações em livros impressos e CDs dos eventos.

A edição do XVII Seminanosoma foi marcada pelos efeitos da pandemia global. Não só porque foi realizada remota-

mente como resultado das medidas de “distância e isolamento social”, do fechamento de fronteiras e da falta de recursos econômicos (este último não atribuível à pandemia), mas porque o eixo articulador do edital foi pensar precisamente na pandemia em relação aos diversos temas abordados no seminário.

Talvez como sintomas de uma transformação epocal, talvez o aprofundamento das características da sociedade de risco global, a pandemia passou a apresentar os cenários projetados de anos atrás nas análises e debates que vêm ocorrendo nas reuniões anuais da Renanosoma: as mudanças que introduzem a chamada revolução industrial 4.0, os níveis crescentes de incerteza e a falta de pesquisas críticas sobre os impactos das tecnologias emergentes e convergentes – da saúde e do meio ambiente à política-institucional.

Ou seja, antes e a partir da pandemia, analisamos fenômenos e transformações complexas, que, além de terem sido alertados na pesquisa do Renanosoma, continuam a nos oferecer novos problemas para a reflexão na hora. Portanto, uma primeira leitura transversal deste e-book é a relação dos processos que temos analisado sobre as múltiplas implicações das mudanças tecnológicas em relação ao fenômeno pandêmico.

Uma segunda leitura transversal possível é aquela que fornece um quadro de reflexões inter e transdisciplinar do trabalho individual e em grupo por acadêmicos e especialistas de diferentes áreas da administração pública e da sociedade civil que integram a Renanosoma como membros ou convidados. Neste sentido, o livro relata linhas consolidadas de pesquisa, como a regulação e governança das nanotecnologias; a proteção da saúde e segurança dos trabalhadores e consumidores de processos que incorporam nanotecnologias; o desenvolvimento nanotecnológico na agricultura, meio ambiente e saúde como áreas privilegiadas para observar o quadro de políticas; as abordagens à teoria social e filosófica, entre outros. Ao mesmo tempo, novos problemas são configurados, uma vez que, apesar do aparente desencantamento ou da passagem da moda das nanotecnologias, mesmo esses desenvolvimentos contribuíram e buscaram destacar como tal, em relação à prevenção e tratamento da Covid-19 em contextos de hipercapi-

talismo e convergência tecnológica. Assim, para problemas e processos complexos, esse quadro inter e transdisciplinar fornece uma análise de acordo com tal complexidade.

Daí vem uma terceira leitura transversal possível, que é a reflexão sobre a produção do conhecimento e suas epistemologias plurais. Os mesmos desenvolvimentos em torno da complexidade explicam a proposta de esquemas cognitivos capazes de vincular diferentes escalas, elementos, conceitos e perspectivas, não redutíveis a uma causalidade simples, unilinear e uma certeza aparente. Pelo contrário, as perspectivas aqui apresentadas explicitam os contextos de pensamento e geração de conhecimento em que os pontos de partida – e a chegada também – são a incerteza, a multiplicidade de redes causais e interpretativas, a interdependência e interconexões nas quais são construídos os objetos sociotécnicos como as nanotecnologias.

Essa orientação epistêmica é promovida por uma ética da pesquisa comprometida com a vigência dos direitos humanos, por sua afirmação diante do avanço da comoditização neoliberal e o autoritarismo dos governos e, especialmente para essa situação, a do governo Bolsonaro no Brasil. É nesse quadro que o trabalho que compõe esse volume faz sentido, e as trajetórias de pesquisa individual e coletiva inseridas através da *Renanosoma*.

Claro que este livro tem outras leituras possíveis, e esse é o convite para seus leitores.

A estrutura da publicação segue a do programa do XVII *Seminanosoma* e foi agrupada em seis partes. A primeira parte, intitulada “Nanotecnologia e regulação” tem a obra “Nanotecnologia e regulação: estamos no caminho certo?” A autoria de Wilson Engelmann apresenta uma análise crítica da velocidade do desenvolvimento tecnológico e do ritmo de criação de lei e regulação legisladas, tratando de alternativas a modelos de “autorregulação regulamentada”, formas híbridas de um novo “direito de rede” que Engelmann descreve com precisão argumentada.

A segunda parte, “Nanotecnologia e Transdisciplinaridade” inclui dois capítulos. Raquel Von Hohendorff, em seu trabalho “Nanotecnologias e a pandemia da Covid-19: trans-

disciplinaridade e metamorfoses”, começa com uma pergunta sobre significado dos eventos globais como a pandemia e com ela a revolução técnico-científica, diante da qual, segundo a autora, cabe ao Direito utilizar-se das diferentes ferramentas transdisciplinares para lidar com aspectos como a volatilidade, incerteza, complexidade e ambiguidade destes processos, os riscos, possíveis atingidos e o estabelecimento de responsabilidades civis e públicas.

Ana Yara Paulino, no capítulo “Condições de trabalho dos agentes de combate a endemias durante a pandemia da Covid-19” apresenta resultados de uma pesquisa participativa de uma população de risco que esteve e ainda continua à frente do combate à Covid-19 nas piores condições, que nem sempre dispõe de equipamento de proteção individual (EPI) e equipamento de proteção coletiva (EPC) na quantidade e qualidade necessárias. Além das condições precárias de trabalho e ao desrespeito à cultura da segurança, a protocolos sanitários e à vida de trabalhadores e trabalhadoras. Condições que se tornam ainda mais paradoxais diante das promessas de desenvolvimento nanotecnológico para uma melhor qualidade de vida.

A terceira parte, “Nanotecnologia, pandemia e trabalho”, inclui mais três capítulos. Arline Arcuri em seu texto titulado “Nanotecnologia, Covid-19 e trabalhadores” revisa a literatura científica que aborda a relação entre nanotecnologia e pandemias. Por exemplo, a partir da determinação da sequência genética do vírus, assim como suas mutações, só foi possível com equipamentos desenvolvidos com nanotecnologia, e sua convergência com outras tecnologias, ou seja, o uso de nanomateriais para o diagnóstico da doença, e também de medicamentos em escala nanométrica. Arcuri alerta que as nanopartículas possuem um alto espectro bactericida, além de outras consequências tais como riscos tóxicos na inalação de nanopartículas.

Thomaz Ferreira Jensen, no capítulo “Formação sindical e incorporação de progresso técnico: análise de uma experiência com nanotecnologias no Brasil” recupera a primeira experiência de inclusão das nanotecnologias como item de pauta

reivindicatória no Movimento Sindical brasileiro no caso da Federação dos Trabalhadores do Ramo Químico FETQUIM da CUT no Estado de São Paulo. O autor analisa os obstáculos e lutas para a efetiva vigência do direito à informação sobre a presença de materiais nanoestruturados nos processos produtivos. Num contexto da fragmentação e da perda de poder dos sindicatos, a análise desta experiência procura contribuir para uma conceituação do sindicalismo como movimento social de contestação da ordem vigente e de não aceitação dessas transformações que fragilizam ainda mais ao trabalhador.

Valeria Ramos Soares Pinto, no texto intitulado “Questões postas pelo uso intensivo da nanoprata” revisa a literatura disponível sobre os diversos materiais nanoestruturados, como grafeno, nanodiamante, nanofibras de polímeros e nanopartículas de prata, dióxido de titânio e óxido de cobre, e o uso deles a fim de agregar propriedades antivirais e antibacterianas a uma série de produtos, tanto em ambientes da saúde como para população geral. Máscaras respiratórias, luvas, roupões, aventais, sabonetes, sanitizantes, desinfetantes, e detergentes são demandados com a pandemia da Covid-19. Mas como bem afirma a autora, ainda faltam evidências que comprovem sua eficiente ação contra os vírus. Portanto, seu uso indiscriminado contra o novo coronavírus, além de criar uma falsa ideia de proteção, pode trazer a longo prazo consequências à saúde humana e ao meio ambiente.

A quarta parte, “Nanotecnologia, C&T e democracia” apresenta três capítulos que acrescentam outros aspectos aos problemas estudados. Maurício Berger, no capítulo intitulado “Ciência regulatória e ciência da precaução: de comitês de especialistas para comunidades especializadas na regulação das nanotecnologias na Argentina” expõe o caso argentino, e analisa como, diante da incerteza dos efeitos dos desenvolvimentos nanotecnológicos, há uma predominância de especialistas em deliberação e tomada de decisões que exclui uma participação dos atingidos. Frente a isso, como pensar um esquema regulatório que não dê conta apenas de aspectos epistêmicos para uma ciência de complexidade, mas também em aspectos prático-políticos, uma urgente democratização na tomada de

decisões regulatórias, orientadas pela ideia de um raciocínio público para assuntos nanotecnológicos.

José Manuel Rodríguez Victoriano, no texto “El desahucio del vínculo social en el neoliberalismo y su expresión actual en la investigación científica sobre el Covid-19” oferece uma discussão filosófica localizada na crítica à passagem da violência biopolítica do liberalismo para a crueldade necropolítica do neoliberalismo contemporâneo e, neste contexto, oferece uma perspectiva sobre o papel que o conhecimento e a pesquisa nas universidades públicas desempenham na pandemia atual, consideradas como locais de resistência para as quais é necessário recuperar a “hospitalidade” que a comoditização do conhecimento e da pesquisa expulsou das instituições de pesquisa educacional e pública.

Paulo Roberto Martins, no capítulo “Uso dos recursos públicos de forma democrática na produção de conhecimentos sobre nanotecnologia: o que seria isso?” propõe uma reflexão emoldurada em termos de “ciência da produção” e “ciência dos impactos”, para dar conta da forma em que materializou a apropriação dos recursos públicos aplicados à produção de novos conhecimentos no campo das nanotecnologias. Neste contexto, o foco está em criticar o uso de recursos públicos federais na produção de conhecimentos sobre as nanotecnologias no Brasil. O autor afirma que, para haver democracia no desenvolvimento da ciência e da tecnologia, é preciso um controle público dessas atividades, para o qual é necessário romper com o paradigma adotado pela comunidade científica de que “só pode decidir quem entende”, e passar a adotar outro paradigma onde a sociedade que paga impostos para o financiamento do setor também possa participar nas decisões sobre o processo de produção da ciência e tecnologia.

A quinta parte, intitulada “Nanotecnologia e desafios em saúde e segurança no trabalho” inclui dois trabalhos que apresentam um estudo detalhado de metodologias empíricas e conceituais para o controle e avaliação de risco da exposição ocupacional a nanomateriais. Luís Renato Balbão Andrade, no capítulo “Control Banding: conceito e aplicações práticas para nanomateriais” apresenta o método do Control Ban-

ding, o controle de faixas ou bandas, desenvolvido como uma ferramenta pragmática para auxiliar a realização da gestão de riscos em situações envolvendo substâncias químicas potencialmente perigosas, onde praticamente não se tem dados sobre a toxicidade dessas substâncias. O autor apresenta desenvolvimentos teóricos, contextuais e práticos (uma experiência simulada) como aportes para uma reflexão sobre a utilização das nanotecnologias, de maneira que se possa mitigar os riscos à segurança e à saúde daqueles que com elas trabalham nos laboratórios de pesquisa.

José Renato Schmidt, no texto intitulado “Novas abordagens sobre análise de perigo e riscos devido às nanotecnologias”, parte de uma distinção conceitual entre risco e perigo, dando conta das probabilidades de ocorrências de eventos perigosos e a identificação de fontes com o potencial de causar danos, para dar local a uma visão alternativa para a avaliação do risco ocupacional na manipulação de nanomateriais: o modelo de Redes Bayesianas, que consiste num cálculo probabilístico para a tomada de decisão com o raciocínio da incerteza. O trabalho de Schmidt sintetiza este desenvolvimento conceitual e vem acompanhado de exemplos gráficos de sua aplicação.

A sexta e última parte, “Tecnologias e sociedade: teoria social, agricultura e saúde” inclui três capítulos que expandem a abordagem dos problemas analisados até o momento. Tania Elias Magno da Silva, no texto intitulado “Muito além do reino de Lilipute: nanotecnologia – quando o tamanho é importante”, levanta uma abordagem filosófica crítica dos múltiplos riscos do desenvolvimento das nanotecnologias e o faz através de questões que provocam debate: quais os riscos decorrentes desses avanços e conquistas? Quanto vale a vida humana hoje? E a preservação ambiental? Quais os limites impostos frente a essas novas descobertas? Será a nanotecnologia capaz de resolver todas as demandas apresentadas? A que custos? Quem poderá desfrutar dos benefícios trazidos por essa chamada revolução tecnológica? Quais os impactos que podem advir dessa nova tecnologia? Estamos preparados para enfrentá-los?

Steve Suppan, no capítulo “Nanopesticidas: introducción a los productos encapsulados y marcos para evaluar sus riesgos para la salud ambiental y humana” apresenta sinteticamente os resultados de uma pesquisa sobre testes de nanopesticidas nos campos para entender a amplitude ou os impactos em diferentes condições metrológicas. Suppan descreve as etapas de aconselhamento de risco para os pesticidas convencionais antes de serem aprovados para comercialização e delinea as dificuldades e desafios regulatórios que impedem a avaliação de risco de nanofios, sendo a caracterização dos impactos segundo observações no campo, a maior dificuldade em estabelecer controles de rigor científico quando há tantos fatores para controlar no campo aberto.

Jorge Marques Pontes, no capítulo intitulado “Inovações tecnológicas em saúde: como nanotecnologias e suas possibilidades” retoma a discussão sobre nanotecnologia e pandemia, levando em conta as relações entre diagnóstico, prevenção e tratamento, e alertando sobre os impactos na saúde e nenhum ambiente de adoção de tais tecnologias. A reflexão proposta pelo autor não é a de um cálculo utilitarista de custo/benefício, mas com uma ética outra da pesquisa, para aprofundar o estudo das consequências da adoção de tecnologias emergentes tendo em conta a proteção dos direitos de trabalhadores e consumidores, e levando em consideração pesquisas feitas em nível global e seu uso no contexto brasileiro.

Este e-book inclui também as intervenções dos debatedores Gláucia Nascimento de Souza, Eduardo Martinho, Eduardo Rodrigues, Elisa Kayo Shibuya e Paulo Roberto Martins, que fornecerão mais elementos para completar a leitura deste livro com um conjunto de descrições, conceitos e argumentos nas linhas que o Renanosoma vem proporcionando desde o seu momento de fundação, em 2004.

Desejamos-lhe uma boa leitura!

Maurício Berger¹

1 Pesquisador Adjunto do Conselho de Pesquisas Científicas e Técnicas (CONICET) e Professor Adjunto do Instituto de Pesquisa e Formação em Administração Pública, Faculdade de Ciências Sociais, Universidade Nacional de Córdoba, Argentina.

PARTE 1:
NANOTECNOLOGIA E REGULAÇÃO

NANOTECNOLOGIA E REGULAÇÃO: ESTAMOS NO CAMINHO CERTO?¹

Wilson Engelmann²

Durante as duas décadas do século XXI, vive-se um conjunto variado, complexo e conectado de situações que afetam o tecido social e a estruturação dos grupos sociais e organizações. Primeiro de tudo, convive-se com a convergência tecnológica inserida no panorama da Quarta Revolução Industrial (SCHWAB, 2016; 2018). Entre essas tecnologias estão as nanotecnologias, que representam a possibilidade da manipulação da matéria que esteja na escala nanométrica, equivalente à bilionésima parte de um metro.

- 1 Resultado parcial das investigações desenvolvidas pelo autor no âmbito dos seguintes projetos de pesquisa: a) Edital 02/2017 – Pesquisador Gaúcho – PqG – Título do Projeto: “A autorregulação da destinação final dos resíduos nanotecnológicos”, com apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS; b) Chamada CNPq 12/2017 – Bolsas de Produtividade em Pesquisa – PQ – Título do Projeto: “As nanotecnologias e suas aplicações no meio ambiente: entre os riscos e a autorregulação”; c) Chamada MCTIC/CNPq 28/2018 – Universal/Faixa C – Título do Projeto: “Nanotecnologias e Direitos Humanos observados a partir dos riscos no panorama da comunicação entre o Ambiente Regulatório e o Sistema da Ciência”; d) Edital FAPERGS/CAPEs 06/2018 – Programa de Internacionalização da Pós-Graduação no RS – Título do Projeto: “Sistema do Direito, novas tecnologias, globalização e o constitucionalismo contemporâneo: desafios e perspectivas”. Este trabalho também se relaciona com as pesquisas realizadas no contexto do Gracious Consortium, “*Grouping, read-across, characterisation and classification framework for regulatory risk assessment of manufactured nanomaterials and safer design of nano-enabled products*”, com recursos financeiros do European Union’s Horizon 2020 *research and innovation programme under Grant Agreement* n. 760840, disponível em: www.h2020gracious.eu. O trabalho aqui apresentado também está vinculado à pesquisa realizada pelo autor no CEDIS – Centro de I&D sobre Direito e Sociedade, da Faculdade de Direito da Universidade Nova de Lisboa, Portugal, e à investigação desenvolvida pelo autor junto ao Instituto Jurídico Portucalense, da Universidade Portucalense, Porto, Portugal.
- 2 Pós-doutor em Direito Público / Direitos Humanos pela Universidade de Santiago de Compostela, Espanha; doutor e mestre em Direito Público pelo Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos; coordenador executivo do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios da Unisinos; professor e pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Direito (Mestrado e Doutorado) da Unisinos; bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. E-mail: wengelmann@unisinos.br.

Em pesquisa realizada na base de dados Nanotechnology Products Database, no dia 25 de março de 2021, encontrou-se o registro de 8.980 produtos de variados segmentos que tinham alguma relação com a nanoescala. Esses produtos são desenvolvidos em 2.519 indústrias espalhadas por 63 países (STATNANO, 2020). Os setores onde esses produtos se encontram são: agricultura, automotivo, construção, cosméticos, eletrônicos, usos ambientais e energias renováveis, alimentos e embalagens, aparelhos domésticos, medicina e odontologia, além de fármacos, petróleo, impressões 3D, esporte e *fitness*, e têxtil (STATNANO, 2020). Com esse cenário, é possível afirmar que em praticamente todos os setores já se encontram produtos à base de nanopartículas. Apesar disso, ainda não se tem um marco regulatório bem definido. Ao menos não em uma avaliação legislativo-formal, o que não significa dizer que temos ausência de regulação, como se verá a seguir.

Durante o mês de dezembro de 2019, teve início um novo desafio global: as primeiras manifestações da Covid-19, que se converteria em pandemia global em 2020. Por isso, o ano de 2020 tem peculiaridades específicas, que em nada lembram as características e promessas tecnológicas que se observaram até o final de 2019. De qualquer modo, a convergência tecnológica está auxiliando no combate da pandemia. Segundo Schwab e Malleret (2020), com a declaração da pandemia e o surgimento dos efeitos inusitados e nefastos trazidos pelo novo coronavírus, o mundo se viu em uma situação que aponta para a necessidade de se fazer um *reset global*, dar um novo *enter* e recomeçar quase tudo que estava sendo desenvolvido e ainda planejado até o final de 2019. A seguir, apresenta-se um quadro comparativo com as características da Quarta Revolução Industrial e os elementos próprios do mundo inserido na Covid-19:

Características da Quarta Revolução Industrial e do mundo do *reset global*

Quarta Revolução Industrial	Mundo antes, durante e pós-Covid-19
Velocidade	Velocidade
Amplitude e profundidade	Interdependência
Impacto sistêmico	Complexidade

Fonte: elaborado pelo autor a partir de Schwab (2016) e Schwab e Malleret (2020).

Esse quadro mostra que vivemos em um mundo onde tudo acontece muito rápido, o que, muitas vezes, é impulsionado pelos movimentos das novas tecnologias, como as nanotecnologias, a inteligência artificial, a internet das coisas, as impressões 3D e os materiais inteligentes, entre outras. Essa também é a característica do momento que se vive durante o século XXI, pois a vida está em jogo: mantê-la e perdê-la exige velocidade. Assim como a amplitude e a profundidade são características da nova revolução, atingindo todos os setores estruturados pelo ser humano, as conexões e as redes geram uma interdependência incrível entre todas as partes do globo terrestre. O impacto sistêmico converge com a complexidade, dadas as grandes e variadas possibilidades de resultados gerados pelo mundo em rede e hiperconectado (FLORIDI, 2015; 2018; DI FELICE, 2009).

Esse é um contexto propício para se pensar como o Direito poderá participar ativamente do momento vivido pela sociedade. Diversas iniciativas de regulação formal de várias facetas do descrito cenário têm sido observadas. Tais iniciativas nem sempre são exitosas, pois o processo legislativo, que encontra regra a partir do artigo 61 da Constituição do Brasil (BRASIL, 1988), ainda está preso a formalidades e ritos inadequados às mencionadas características. A estrutura das diversas etapas de criação de uma nova lei remonta há mais de dois séculos. Sim, está corretamente escrito. Somente por isso se poderá concluir que a criação de leis se posiciona temporalmente desfalcada e inapropriada, tanto para regular as tecnologias convergentes, onde se encontram as nanotecnologias, quanto para normatizar os desafios trazidos pela Covid-19.

Tais elementos mostram que se está vivendo um fenômeno bem característico: a velocidade das tecnologias está muito mais acelerada do que o ritmo de criação do Direito legislado. Para tanto, cada vez mais, se deverá recorrer à estrutura normativa dos princípios, trabalhar com dados e desenvolver espaços reais para testes regulatórios, antes da sua adoção em grande escala na sociedade (FENWICK; KAAL; VERMEULEN, 2017).

Trata-se de alternativas pouco conhecidas e ainda rejeitadas por muitos, pois são alternativas (caminhos, escolhas)

que não dependem diretamente da atuação do Estado legislador. De qualquer modo, não se trata de um modelo de autorregulação puro, mas de uma estrutura de autorregulação regulada (ENGELMANN, 2018). Nesse modelo, cada organização poderá desenvolver as suas estruturas normativas e éticas internas, de acordo com o propósito previamente definido, mas com a observância e a incorporação de elementos externos. Aqui se tem o tema dos Direitos Humanos como uma questão que não depende da decisão interna da organização, mas que deverá vir do exterior e com a fiscalização do Estado.

Encontra-se nessa linha de preocupação com o tema dos Direitos Humanos aplicado às empresas o conteúdo do Decreto n. 9.571/2018 (BRASIL, 2018), que estabelece diretrizes nacionais para Empresas e Direitos Humanos. Esse Decreto ganhou mais força em 2020, quando foi editada a Resolução n. 5, de 12 de março de 2020, pelo Conselho Nacional dos Direitos Humanos, que estabelece diretrizes nacionais para uma política pública sobre Direitos Humanos e Empresas (BRASIL, 2020). Observa-se, nesse momento, no tocante ao tema fundamental para a regulação das nanotecnologias, a importância dos dois textos de regulação das empresas (que trabalham a partir da nanoescala) e a importância do tema dos Direitos Humanos para a construção da regulação interna dessas organizações empresariais. Portanto, têm-se aqui dois exemplos muito interessantes do movimento da criação normativa via autorregulação regulatória.

Esse tema ganha força no contexto atual, pois cada vez mais se valorizam empresas que trabalham com um propósito que vai muito além da finalidade do lucro, que sempre caracterizou as empresas, especialmente no Direito Brasileiro. Um autor que tem se dedicado há algum tempo a esse tema é John Gerard Ruggie (2014), que desenvolveu um *framework* a partir de três ações concretas direcionadas aos Direitos Humanos nas empresas: respeitar, proteger e remediar. A partir desses três elementos, o autor desenvolveu 31 princípios para a sua efetivação.

Na mesma linha, destaca-se o livro de Raj Sisodia e Michael J. Gelb, intitulado “Empresas que curam: despertan-

do a consciência dos negócios para ajudar a salvar o mundo” (2020), onde se percebe claramente um ponto de inflexão, no qual negócios precisam assumir a responsabilidade de curar as crises de nosso tempo. Todos os negócios precisam se transformar em negócios de impacto socioambiental positivo. As políticas públicas e/ou a sociedade civil organizada não conseguirão sozinhas acelerar as boas transformações de que o mundo precisa (SISODIA; GELB, 2020).

A partir desses autores (Ruggie, Sisodia e Gelb) tem-se um referencial teórico forte para estruturar modelos de autorregulação regulada, que deverão incorporar, ainda, as normas técnicas já produzidas sobre as nanotecnologias, onde se destaca a ISO 26000, que se apresenta como um guia de responsabilidade social, buscando praticar a sua contribuição para o desenvolvimento sustentável (ABNT, 2010).

Ao mesmo tempo, observa-se um grande número de normas técnicas, elaboradas por diversas organizações internacionais de normalização. Segundo a Nanotechnology Products Database, em pesquisa realizada no dia 30 de outubro de 2020, existem 1.659 normas técnicas relacionadas às nanotecnologias, produzidas por 42 organizações. Chama a atenção a quantidade de normas técnicas produzidas pelas cinco primeiras organizações: 1) SAC (China): 165 normas técnicas; 2) BSI (Reino Unido): 122 normas técnicas; 3) ISO Global: 113 normas técnicas; 4) ISIRI (Irã): 104 normas técnicas; e 5) TNSC (Taiwan): 67 normas técnicas (STATNANO, 2020). Observa-se que a mais conhecida, a ISO, não é a principal organização que edita normas técnicas sobre as nanotecnologias. Ela está apenas em terceiro lugar. Esses dados revelam que se tem um variado e amplo conjunto de diferentes normas técnicas, que deverá ser incorporado nas estruturas autorregulatórias reguladas das empresas que operam desde a escala nanométrica.

As referidas estruturas revelam uma espécie de modelo híbrido de regulação, onde se juntam diretrizes nacionais, oriundas do Estado, acrescidas das normas técnicas de normalização; assim, tem-se um material criativo e flexível para regular as nanotecnologias, destacando a preocupação central desse conjunto com a saúde e a segurança do trabalhador

e do consumidor, além dos cuidados ambientais com sobras e descartes ao longo do ciclo de vida dos nanomateriais. Paralelamente, insere-se, nesse conjunto, o papel do princípio da precaução (ESTEVE PARDO, 2016), dada a ainda presente incerteza científica sobre os riscos que as nanopartículas poderão gerar em relação ao ser humano e na sua interação com o meio ambiente. Com a adição das normas técnicas internacionais, abrem-se possibilidades de construir um Direito em rede, em uma espécie de rede de interconexões dinâmicas recursivas, onde a hierarquia é substituída pela rede (VESTING, 2015).

Com o cenário regulatório estruturado a partir dos destacados elementos, se deverá buscar trazer para o Direito os chamados laboratórios reais e vivos para a testagem desse conjunto normativo. Aqui ingressam os chamados *Living Labs*: não se encontrou uma definição, mas alguns elementos-chave presentes nas diferentes concepções permitem compreender que os *Living Labs* possibilitam às partes interessadas formar parcerias pessoais-público-privadas (4Ps), envolvendo desenvolvedores e usuários finais em um processo de cocriação de inovações, de acordo com a noção de inovação aberta em múltiplos e evolutivos contextos do cotidiano. Para isso, oferecem estrutura e governança para a participação dos usuários, por meio da manutenção desses grupos, disponibilizando serviços no entorno da experiência dos usuários, apoiando usuários líderes e criando conexões (ALMIRALL; WARHAM, 2008; SILVA; BITENCOURT, 2015). Portanto, ao modelo de autorregulação regulada que as empresas poderão desenvolver, adiciona-se, também, a possibilidade de se transformarem em verdadeiros laboratórios para a testagem das estruturas que desenvolveram. A partir daí se terá um conjunto de informações sobre os aspectos positivos dos modelos normativos, abrindo-se um caminho criativo para uma aplicação ampliada (para outras empresas) desses modelos testados e ajustados no âmbito dos *Living Labs* regulatórios.

Esse, portanto, é um caminho regulatório que se apresenta viável neste momento, em que existem incertezas científicas sobre os riscos das nanopartículas e dificuldade para

uma regulação legislativo-estatal. Se o caminho está corretamente desenhado, o tempo dirá. Concomitantemente, busca-se trazer a inovação para o âmbito jurídico, o que poderá contribuir na modernização das fontes que sempre foram consideradas “tradicionais” na História do Direito, com a abertura para novas formas de expressão do jurídico.

REFERÊNCIAS

- ALMIRALL, E.; WAREHAM, J. Living labs and open innovation: roles and applicability. **Electronic Journal for Virtual Organizations and Networks**, v. 10, p. 21-46, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 26000: Diretrizes sobre Responsabilidade Social. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/sp/PUB100258_sp.pdf. Acesso em: 31 out. 2020.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm. Acesso em: 31 out. 2020.
- BRASIL. Presidência da República. Secretaria Geral. **Decreto n. 9.571 de 21 de novembro de 2018**. Estabelece as Diretrizes Nacionais sobre Empresas e Direitos Humanos. Brasília, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Decreto/D9571.htm. Acesso em: 31 out. 2020.
- BRASIL. Ministério dos Direitos Humanos. Conselho Nacional dos Direitos Humanos. **Resolução n. 5 de 12 de março de 2020**. Dispõe sobre Diretrizes Nacionais para uma Política Pública sobre Direitos Humanos e Empresas. Brasília, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mdh/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselho-nacional-de-direitos-humanos-cndh/copy_of_ResoluoDHeempresas.pdf. Acesso em: 31 out. 2020.

- DI FELICE, Massimo. **Paisagens pós-urbanas: o fim da experiência urbana e as formas comunicativas do habitar.** São Paulo: Annablume, 2009.
- ENGELMANN, Wilson. Nanotecnologias e Direitos Humanos. **Cadernos de Dereito Actual**, Universidad de Santiago de Compostela, Espanha, n. 9, p. 441-487, 2018. Disponível em: <http://www.cadernosdedereitoactual.es/ojs/index.php/cadernos/article/view/325/201>. Acesso em: 30 out. 2020.
- ESTEVE PARDO, José. Tecnologías convergentes y principio de precaución. *In*: ROMEO CASABONA, Carlos María (ed.). **Tecnologías convergentes: desafíos éticos y jurídicos.** Granada, Espanha: Comares, 2016. p. 81-93.
- FENWICK, Mark D.; KAAL, Wulf A.; VERMEULEN, Erik P. M. Regulation tomorrow: what happens when technology is faster than the Law? **American University Business Law Review**, v. 6, n. 3, p. 561-594, 2017. Disponível em: <http://digitalcommons.wcl.american.edu/aublrvol6iss3/1>. Acesso em: 30 out. 2020.
- FLORIDI, Luciano (ed.). **The Onlife Manifesto: being human in a hyperconnected era.** London: Springer Open, 2015.
- FLORIDI, Luciano. Soft Ethics and the Governance of the Digital. **Philosophy & Technology**, v. 31, p. 1-8, 2018.
- RUGGIE, John Gerard. **Quando negócios não são apenas negócios: as corporações multinacionais e os Direitos Humanos.** Tradução de Isabel Murray. São Paulo: Planeta Sustentável, 2014.
- SCHWAB, Klaus; MALLERET, Thierry. **Covid-19: the great reset.** Switzerland: Forum Publishing; World Economic Forum, 2020.
- SCHWAB, Klaus. **Aplicando a quarta revolução industrial.** Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: EDIPRO, 2018.
- SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial.** Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: EDIPRO, 2016.
- SILVA, Silvio Bitencourt da; BITENCOURT, Claudia Cristina. Living labs: rumo a um quadro conceitual. *In*: Congresso

Latino-Americano de Gestão da Inovação, 16., 2015, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Altec, 2015. Disponível em: <http://altec2015.nitec.co/altec/papers/833.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020.

SISODIA, Raj; GELB, Michael J. **Empresas que curam**: despertando a consciência dos negócios para ajudar a salvar o mundo. Tradução de Edite Siegert. São Paulo: Alta Books, 2020.

STATNANO. **Nanotechnology Products Database (NPD)**. Lund, Suécia, [2020]. Disponível em: <https://product.statnano.com>. Acesso em: 25 mar. 2021.

VESTING, Thomas. **Teoria do Direito**: uma introdução. Tradução de Gercélia B. de O. Mendes. São Paulo: Saraiva, 2015.

A íntegra da Mesa “Nanotecnologia e regulação”, realizada on-line na manhã do dia 4 de novembro de 2020, durante o XVII Semináriosoma, da qual participaram Wilson Engelmann, Reginaldo Pereira, Patrick Merisio e Silvana Maia, pode ser acessada no canal da Renanosoma (NanoWebTV) no YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=XaV7-VIQtQQ&t=362s>



**PARTE 2:
NANOTECNOLOGIA E
TRANSDISCIPLINARIDADE**

NANOTECNOLOGIAS E A PANDEMIA DA COVID-19: TRANSDISCIPLINARIDADE E METAMORFOSES¹

Raquel Von Hohendorff²

Desde o início do século XXI, estamos vivendo a Quarta Revolução Industrial, segundo Klaus Schwab e Nicholas Davis (2018). No centro potencializador dessa revolução estão as inovações tecnológicas, como as nanotecnologias, inteligência artificial, internet das coisas, impressões 3D e materiais inteligentes, entre outras tecnologias que estão em processo de convergência.

Mas o ano de 2020 está sendo totalmente atípico. Nele, o conceito de tempo foi modificado; passou por uma metamorfose talvez nunca esperada. Tempo de aulas virtuais, de isolamento social, de confinamento, de adaptações, de teletrabalho: tudo em função do novo coronavírus que, desde o final de 2019, ronda o planeta Terra. Situação que, para muitos, era inimaginável, pois vivida apenas antes, em 1918, com a grande gripe. E que, infelizmente, por conta de inúmeros fatores criados por nós, seres humanos, deve se tornar cada vez mais frequente (será que estamos preparados?).

O livro “A Metamorfose do Mundo”, de Ulrich Beck (2018), parece ser uma premonição. O autor pergunta: “Qual

1 Resultado parcial das investigações desenvolvidas pela autora no âmbito do Projeto “Transdisciplinaridade e Direito: construindo alternativas jurídicas para os desafios trazidos pelas novas tecnologias”, com apoio financeiro concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado do Rio Grande do Sul – FAPERGS – Edital 04/2019, Auxílio Recém-Doutor.

2 Doutora e Mestra em Direito Público pela Unisinos. Mestra em Ciências Veterinárias. Professora do Programa de Pós-Graduação em Direito da Unisinos. Participante do grupo de pesquisa JUSNANO. Conselheira titular da Seccional São Leopoldo da Ordem dos Advogados do Brasil. Advogada e médica veterinária. E-mail: rhohendorff@unisinos.br.

é o significado dos eventos globais que se desenrolam diante de nossos olhos na televisão?” Eventos esses que nos atingem diretamente: a situação de estado de pandemia por conta da Covid-19.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou que se tratava de uma pandemia em 11 de março, quando seu diretor-geral expôs ao mundo a situação caótica que justificava o anúncio de uma nova etapa no enfrentamento ao vírus: o reconhecimento de que o planeta estava diante de uma situação pandêmica, palavra que gera inúmeras aflições e sentimentos, e que, a partir de 2020, fará parte cada vez mais de nosso vocabulário. As declarações de emergências, sejam internacionais ou nacionais, têm como efeito potencial a adoção de medidas excepcionais de proteção da saúde pública, que ensejam a necessidade de ponderação e equilíbrio entre os direitos individuais e o interesse coletivo (VENTURA; AITH; RACHED, 2021).

As pandemias vão se tornar cada vez mais presentes nas nossas vidas por inúmeros fatores, mas, principalmente, pela invasão de habitats naturais pelo homem, especialmente em função da expansão de fronteiras agrícolas. Com isso, ampliam-se os contatos entre humanos e animais silvestres, assim como entre animais domésticos e silvestres. Existem muitos indícios de que algumas pandemias terão origem na Amazônia brasileira, justamente por conta da devastação ambiental absolutamente predatória. Por conta disso, cada vez mais, estaremos sujeitos a uma ampliação de mutações em agentes patogênicos, especialmente vírus, que podem realizar o chamado “*spill over*”, quando ocorre um salto de um agente patogênico de uma espécie hospedeira para outra (e esta é uma das suspeitas da origem da Covid-19, seja em morcegos ou em pangolins).

Também se espera uma reemergência de doenças consideradas extintas por conta desta nova proximidade entre humanos e animais silvestres. A questão das mudanças climáticas, sem sombra de dúvidas, tem um impactante papel no surgimento de novas pandemias e também no ressurgimento de doenças, em virtude das alterações na biodiversidade.

Percebe-se que a situação piorou em 30 de março de 2020: o Brasil já registrava 4.579 casos confirmados de Covid-19 e 159 mortes em decorrência da doença; em 25 de maio do mesmo ano o país tinha um total de 347.398 casos, com 22.013 mortos, com um crescente aumento (só no dia seguinte foram registrados 16.508 novos casos e 965 mortes). Em 10 de outubro de 2020 chegamos ao número inacreditável de 150.000 mortos no Brasil. É necessário lembrar que vivemos em uma realidade de saúde pública em que há uma enorme subnotificação de casos no país.

A epidemia de doença por coronavírus (Covid-19) chegou à América Latina e ao Caribe em um momento de economia fraca e vulnerabilidade macroeconômica. Na década seguinte à crise financeira global (2010-2019), a taxa de crescimento do PIB regional diminuiu de 6% para 0,2%. Além disso, o período 2014-2019 foi o de menor crescimento desde a década de 1950 (0,4%).

Nesse contexto, a dinâmica da pandemia de coronavírus, que traz consigo uma combinação de choques externos e internos, será a causa da maior crise econômica e social da região em décadas, com efeitos muito negativos no emprego, na luta contra a pobreza e na redução da desigualdade. Segundo estimativas da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), a atividade econômica na região deverá reduzir 5,3% em 2020. À medida que a dinâmica da pandemia continua e as medidas de distanciamento físico seguem sendo necessárias, a expectativa é que essa contração na economia seja ainda maior do que a projetada (CEPAL, 2020).

Estamos diante de um evento global, cuja magnitude ainda não é integralmente conhecida – ainda mais hoje, com uma nova onda de Covid-19 na Europa. Seria a segunda onda? Aqui no Brasil seremos atingidos também? Efetivamente, a situação sanitária atual “não pode ser considerada como ‘mudança’, ‘evolução’, ‘revolução’ e ‘transformação’” (BECK, 2018, p. 113).

Em vez dessas categorias mencionadas, por que falar em “metamorfose” do mundo? A metamorfose significa algo a mais do que um caminho evolucionário de fechado para aber-

to, e é também algo diferente disso; significa mudança extraordinária de visões de mundo, a reconfiguração da visão de mundo nacional (BECK, 2018, p. 142).

As transformações da sociedade atual são maiores do que se pode prever e ainda mais profundas e rápidas do que em qualquer outro momento. Assim, o cenário atual projeta um grande desafio para novas análises, estudos e pesquisas. Dessa forma, o sistema do Direito e a Quarta Revolução Industrial precisam de uma abordagem a partir da necessária transdisciplinaridade, de modo a contribuir para a concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS).

Os ODS e metas são integrados e indivisíveis, globais por natureza e universalmente aplicáveis, levando em conta as diferentes realidades, capacidades e níveis de desenvolvimento nacionais, respeitando as políticas e prioridades nacionais. As metas são definidas como ideais e globais, com cada governo definindo suas próprias metas nacionais, guiados pelo nível global de ambição, mas levando em conta as circunstâncias nacionais. Cada governo também vai decidir como essas metas ideais e globais devem ser incorporadas aos processos, nas políticas e estratégias nacionais de planejamento. Neste contexto, os ODS definem as prioridades e as aspirações de desenvolvimento sustentável global para 2030, e buscam mobilizar os esforços globais ao redor de uma série comum de objetivos e metas. Os ODS exigem uma ação mundial entre os governos, as organizações e a sociedade civil para acabar com a pobreza e criar uma vida com dignidade e oportunidades para todos, considerando os limites do planeta (BRASIL, 2016).

Assim, cabe ao Direito utilizar-se das diferentes ferramentas transdisciplinares, de modo a não mais permanecer inerte e estancado frente aos novos desafios trazidos pela revolução tecnocientífica. O tema transdisciplinaridade atrai a atenção e instiga a investigação. O que é, afinal, essa expressão tão utilizada e propagada na atualidade? De que se trata tudo isso? Trata-se de uma nova abordagem científica e cultural, uma diferente forma de entender os acontecimentos da vida humana. É um modo de compreensão de processos, uma nova atitude frente ao saber, necessária ao mundo complexo atual.

O prefixo “trans” significa que a transdisciplinaridade está “entre”, “através” e “além” de qualquer disciplina. A lógica clássica criou a disciplinaridade, ou seja, a divisão dos saberes em inúmeros compartimentos, todos isolados, sem relação entre si. Foram formados, desse modo, inúmeros especialistas em quase nada, que quase nada criam para solucionar os reais problemas da humanidade. Assim, não é mais viável que se siga fazendo ciência dessa forma, inclusive em função das atuais necessidades mundiais.

É preciso voltar os olhos para entender que o sistema do Direito precisa atuar de forma transdisciplinar, de modo a lidar com a VUCA – *volatility* (volatilidade), *uncertainty* (incerteza), *complexity* (complexidade) e *ambiguity* (ambiguidade) –, que traduz as condições do mundo atual, pois, como bem afirmava Pontes de Miranda, em 1922, “quem percorre, de um lado, os progressos e conquistas das ciências físicas e, de outro, os das ciências sociais, não pode deixar de entristecer-se. O direito continua a ser elaborado e explicado segundo os métodos dos tempos romanos e da idade média (PONTES DE MIRANDA, 1972).

Pensando em transdisciplinaridade, é preciso mencionar que a nanotecnologia, um dos grandes pilares da Quarta Revolução Industrial, tem auxiliado nas diferentes ações de combate ao coronavírus. As pesquisas desenvolvidas sobre as nanopartículas poderão servir para enfrentar as causas que geram a Covid-19, como a contaminação das superfícies com o vírus. Já existem investigações e publicações relacionadas ao efeito bactericida de nanopartículas de prata, conforme se pode ler na página da empresa paulista NANOX, que se dedica há algum tempo ao uso da nanotecnologia. No entanto, “sua eficácia versus vírus é ainda objeto de estudo científico e carece de protocolos oficiais para atestar sua eficiência de maneira universal, como se faz contra fungos e bactérias, principalmente devido à grande variabilidade genética dentro de uma população viral”. Constata-se que “estudos científicos têm reportado o uso da prata com sucesso em terapias antivirais, mostrando assim o potencial deste princípio ativo como um possível virucida e uma possível arma de prevenção contra a Covid-19” (NANOX 2020).

Unindo todos esses aspectos aqui explanados, a partir de Ulrich Beck (2018, p. 158) também se formularam mais três questões: 1) “Quem deve determinar a nocividade de produtos e tecnologias no risco envolvido, e suas dimensões? Cabe a responsabilidade àqueles que geram esses riscos ou àqueles que se beneficiam deles? São aqueles afetados ou potencialmente afetados por eles incluídos ou excluídos?”; 2) “O que deve ser considerado prova suficiente e – num mundo em que lidamos necessariamente com conhecimento contestado ou conhecimento que não conhecemos e que nunca teremos no sentido clássico – quem decide isso?”; e 3) “Se há perigos e danos, quem deve decidir sobre compensações para os afligidos e quem cuida de assegurar que futuras gerações sejam confrontadas com menos riscos existenciais?”

Ainda não possuímos respostas para tudo isso e as nanotecnologias são um desafio. Como as nanopartículas são muito pequenas – medindo menos de um centésimo de bilionésimo de metro – são regidas por leis físicas muito diferentes daquelas com as quais a ciência está acostumada. Existem probabilidades de que as nanopartículas apresentem grau de toxicidade maior do que as partículas em tamanhos normais, podendo, assim, ocasionar riscos à saúde e à segurança de pesquisadores, trabalhadores e consumidores. À medida que o tamanho de uma partícula diminui e se aproxima da nanoescala, muitas propriedades começam a mudar em comparação com o mesmo material no seu tamanho macro. Cita-se, como exemplo, a cor e a temperatura de fusão do ouro, as quais são muito diferentes em nanoescala e em ouro convencional.

Materiais que se mostram inertes na escala macro podem apresentar comportamentos diferentes e efeitos tóxicos na escala nano. Como a área de superfície de partículas aumenta, uma maior proporção de seus átomos ou moléculas começa a ser exibida na superfície, em vez de no interior do material. Existe uma relação inversa entre o tamanho da partícula e o número de moléculas presentes em sua superfície. O aumento na área de superfície determina o número potencial de grupos reativos sobre a partícula. Com uma diminuição do tamanho, a alteração das propriedades físico-químicas e es-

truturais das nanopartículas poderá ser responsável por uma série de interações que podem levar a efeitos tóxicos.

Aqui, destaca-se uma dificuldade, ou uma nova perspectiva sócio-global, a ser enfrentada por todas as áreas do conhecimento, incluindo o sistema do Direito. A “metamorfose do mundo” gerada pelo novo coronavírus fez uma divisão entre o mundo da Quarta Revolução Industrial – aquele vigente até meados de dezembro de 2019 – e o “novo” mundo – a partir do final de dezembro de 2019, com a Covid-19. Este é o “mundo real”, a matéria-prima para o sistema do Direito observar, perceber, reagir e produzir novas estruturas do jurídico, de modo a proteger os direitos e deveres no Estado Democrático de Direito, alicerçado na Constituição do Brasil de 1988.

Percebe-se que, frente aos inúmeros novos desafios surgidos com a pandemia de Covid-19, uma vez que o Direito é uma ciência social aplicada e a produção de seu conhecimento deve ser sempre contextualizada a partir de situações problematizadas na sociedade; e não deve se restringir apenas a discussões teóricas sem vinculação com o mundo fático. Para tanto, torna-se necessário que não somente a ciência jurídica, mas também as demais ciências saiam de seus casulos e deixem sua cegueira unidimensional de lado, procurando suporte de outras áreas do conhecimento.

Assim como no início do texto mencionou-se que vivemos em tempos estranhos, encerra-se este texto em isolamento social, esperando que os diferentes sistemas sociais consigam ultrapassar as improbabilidades da comunicação, e atuem em conjunto, em busca da garantia da saúde global (humana e ambiental), da qual faz parte o meio ambiente, bem como de trabalho saudável, parte do conceito mais amplo da sustentabilidade ambiental, no sentido da concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU.

REFERÊNCIAS

BECK, Ulrich. **A Metamorfose do mundo**: novos conceitos para uma nova realidade. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Revisão técnica de Maria Cláudia Coelho. Rio de Janeiro: Zahar, 2018.

- BRASIL. Ministério das Relações Exteriores. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/ODSportugues12fev2016.pdf. Acesso em: 18 out. 2020.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Organización Internacional del Trabajo (OIT). **El trabajo en tiempos de pandemia: desafíos frente a la enfermedad por coronavirus (Covid-19)**. Coyuntura Laboral en América Latina y el Caribe, n. 22 (LC/TS 2020/46). Santiago, 2020. Disponível em: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---americas/---ro-lima/---sro-santiago/documents/publication/wcms_701405.pdf. Acesso em: 10 out. 2020.
- NANOX, 2020. Disponível em: <http://www.nanox.com.br/noticias/covid-19-nota-da-nanox-tecnologia-s-a-ao-mercado/>. Acesso em: 10 out. 2020.
- PONTES DE MIRANDA, Francisco C. **Sistemas da ciência positiva do direito**. 2. ed. Rio de Janeiro: Borsoi, 1972.
- SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: EDIPRO, 2018.
- VENTURA, Deisy de Freitas Lima; AITH, Fernando Mussa Abujamra; RACHED, Danielle Hanna. A emergência do novo coronavírus e a “lei de quarentena” no Brasil. **Revista Direito e Práxis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revisataceaju/article/view/49180>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CONDIÇÕES DE TRABALHO DOS AGENTES DE COMBATE A ENDEMIAS DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19

Ana Yara Paulino¹

A pandemia da Covid-19, decretada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) em 11 de março de 2020 (VENTURA; AITH; RACHED, 2021), teve repercussões drásticas na política, na economia e nas populações, e atingiu de forma diferenciada os profissionais da saúde.

No município de São Paulo, parceria entre o Sindicato dos Trabalhadores na Administração Pública e Autarquias do Município de São Paulo (SINDSEP-SP) e a Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP) realizou pesquisa on-line com os agentes de combate a endemias (ACEs) sobre sua atividade durante a pandemia da Covid-19. Os ACEs são responsáveis pela vigilância ambiental e promoção da saúde nos territórios, e estão integrados ao Sistema Único de Saúde (SUS), conquista esta dos servidores públicos em 2014 na cidade de São Paulo. A plataforma Google Forms permaneceu aberta para receber respostas entre os dias 26 de agosto e 20 de setembro de 2020. Os resultados desta pesquisa apontam sentimentos de medo, estresse, irritabilidade e cansaço, acrescidos da exposição insegura no trabalho presencial, no transporte coletivo e no transporte durante sua atividade de ACE.

As situações precárias do exercício da atividade dos ACEs foram inúmeras vezes constatadas e objeto de outras pesqui-

1 Cientista social, mestra em Ciência Política, doutoranda na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (FSP/USP) na área de Saúde do Trabalhador, professora universitária, ex-técnica do Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos (Dieese). E-mail: anayarapaulino@gmail.com.

sas, intervenções, seminários, cursos e reivindicações à Prefeitura do Município de São Paulo (SINDSEP-SP, 2018; PAULINO, 2019). Por exemplo, em 2017 constatou-se que as 25 Unidades de Vigilância em Saúde (UVIS) pesquisadas, das 27 UVIS existentes em São Paulo, não possuíam, em diferentes graus, ambiente e condições adequadas de funcionamento, ao se levar em conta as Normas Regulamentadoras (NRs) vigentes, referidas à Saúde e Segurança nos locais de trabalho, quanto a riscos químicos durante o manuseio e armazenamento dos produtos utilizados no controle de vetores e pragas urbanas. Dessa forma, expunham seus trabalhadores – administrativos, técnicos biólogos e veterinários, não somente ACEs, portanto – a riscos de contaminação e adoecimento (SINDSEP-SP, 2018). Tais condições insalubres, cuja solução pelo poder público responsável se arrasta sem êxito há anos, somente agravaram as condições de trabalho e saúde dos ACEs durante a pandemia de 2020.

O SARS-CoV-2, o vírus que causa a Covid-19, é uma nanopartícula, que varia de tamanho entre 60 e 120 nanômetros, e somente pode ser visto através de microscópios eletrônicos. Devido a seu tamanho, pode penetrar em várias células do organismo e facilmente se dispersar no ar, facilitando o contágio entre as pessoas. Ou seja, o SARS-CoV-2 é:

un organismo versátil, que necesita de un cuerpo vivo para reproducirse y se reproduce de una manera espectacular. Y el hecho de la existencia de asintomáticos y todo eso, genera unas condiciones extraordinarias, de modo que se para el mundo. O sea, un bichito tan ínfimo es capaz de hacer lo que no han hecho cuántas conferencias sobre el cambio climático, cuántas cumbres y cuántas reuniones científicas y políticas de las naciones para poner freno al calentamiento global. Lo que no han podido hacer los humanos, lo ha hecho un bichito, que ha podido parar el planeta (CUSICANQUI, 2020, p. 60).

Mas nem tudo parou, nem todas as pessoas foram para *home office*, nem todas pararam de trabalhar. Entre elas, os agentes de combate a endemias em São Paulo continuaram em atividade presencial todos os dias.

Daí a importância de se dar visibilidade, por meio da pesquisa SINDSEP-FSP/USP, às atividades e sentimentos dos

ACEs neste período de pandemia, porque constituem uma categoria de profissionais da saúde com elevado grau de exposição a risco de contaminação pelo coronavírus: desenvolvem suas atividades de forma presencial, encontrando-se todos os dias nas UVIS (e poucas têm boas condições de ventilação e espaço adequado para manter o distanciamento de dois metros), percorrendo os territórios sob sua responsabilidade, vivenciando as desigualdades econômicas e sociais dos bairros, lado a lado com as populações mais vulneráveis. “Morumbi tem mais casos de coronavírus e Brasilândia mais mortes” (RODRIGUES; BORGES; FIGUEIREDO, 2020).

Assim, os ACEs podem ser população de risco elevado à Covid-19 devido a comorbidades várias em razão de sua atividade rotineira; e nem sempre dispõem de equipamento de proteção individual (EPI) e equipamento de proteção coletiva (EPC) na quantidade e qualidade necessárias.

Metodologia

A pesquisa de campo do projeto “Trabalho e saúde dos agentes de combate a endemias (ACEs)”, que incorporou o inquérito sobre Covid-19, desenvolveu-se a partir de metodologias predominantemente qualitativas, como a Análise Coletiva do Trabalho (ACT) e os princípios do Laboratório de Mudança (LM). Ou seja, por meio de contato presencial em reuniões com os ACEs, por se caracterizar como uma intervenção formativa. A pandemia da Covid-19 impossibilitou nosso contato direto com os ACEs, baseado na multivocalidade com os sujeitos da pesquisa, ao mesmo tempo em que o compromisso firmado – entre academia e sindicato de trabalhadores – demandava o uso de outras formas de comunicação e acompanhamento de sua situação de trabalho no contexto da pandemia.

Assim, chegamos à solução da plataforma Google Forms, que possibilitou a continuidade da pesquisa de forma virtual e ampliou nosso contato com os ACEs, por meio de um formulário pequeno, com 24 perguntas, a maioria pré-codificada.

A plataforma Google Forms pode ser instalada e os questionários podem ser respondidos remotamente até pelos ce-

lulares, além de computadores, notebooks e tablets, dado o avanço das nanotecnologias e o correspondente desenvolvimento de equipamentos eletrônicos cada vez menores. Tais equipamentos, mais modernos, possuem grande capacidade de armazenamento de informações em seus nanochips.

A explicação e a justificativa da pesquisa “Agentes de combate a endemias (ACEs) na pandemia da Covid-19” antecederam a apresentação das questões, na forma de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) simplificado. Dos 2.326 ACEs da Prefeitura do Município de São Paulo em 2019, 166 responderam à pesquisa, o que equivale a 7,1%. Destes 166, eliminamos 4 respondentes que não trabalhavam como ACEs no momento da pesquisa. Portanto, os resultados aqui apresentados referem-se a 162 respondentes (ou 6,9%).

Os ACEs foram convidados a participar da pesquisa em grupos de WhatsApp da categoria, assim como por meio de vídeos de diretores do SINDSEP-SP e integrantes do Coletivo de ACEs veiculados no site do sindicato, sendo garantida aos agentes total confidencialidade e não identificação.

Os primeiros resultados apurados foram objeto de uma devolutiva via webinar, promovido pelo SINDSEP-SP em 9 de outubro de 2020, em alusão ao Dia Nacional do Agente Comunitário de Saúde e do Agente de Combate a Endemias, comemorado em 4 de outubro.

Quem são os ACEs que responderam à pesquisa?

Dos 162 ACEs que responderam à pesquisa via Google Forms, 55% se identificaram como do sexo masculino, 44% feminino e 1% preferiu não dizer. Quanto à cor, 47% se declararam brancos, 31% pardos e 22% pretos. A maioria (96%) se diz não portador de deficiência.

As faixas etárias de maior presença dos respondentes são de 30 a 39 anos (39%), 40 a 49 anos (31%) e 50 a 59 anos (25%), ou seja, constituem uma população madura. A entrada no trabalho como ACE na Prefeitura do Município de São Paulo deu-se, em muitos casos, pela ocupação de outra função existente (Agente de Apoio), embora com atribuições semelhan-

tes, antes da criação do cargo em 2014. O último concurso de acesso foi realizado em 2008, o que explica a entrada de 70% dos ACEs a partir de 2009, com concentração em torno do triênio 2009-2011 (50%).

Ao serem perguntados sobre sua filiação a algum sindicato, 51% responderam que são associados ao SINDSEP-SP, 7% a outro sindicato e 42% não se encontram vinculados à entidade sindical.

Como foi dito anteriormente, a atividade do ACE é essencialmente presencial: 94% dos respondentes estiveram nesta situação durante a pandemia. Mas cerca de um terço dos ACEs (32%) relataram que estiveram afastados de seu trabalho em algum momento da pandemia, o que é bastante significativo. Os motivos de afastamento apontados foram: 14% devido a pertencer a grupo de risco por ter alguma(s) comorbidade(s), como diabetes, asma, bronquite, hipertensão etc.; 29% porque adoeceram com Covid-19; e 37% devido a outras questões de saúde não especificadas. Sobre os quase um terço dos ACEs respondentes que foram contaminados por Covid-19, cabe uma busca adicional para esclarecer se estes casos foram considerados adoecimentos relacionados ao trabalho pela Prefeitura do Município de São Paulo (MAENO; DO CARMO, 2020), pois o questionário não dispõe de informações adicionais sobre esse fato.

O que sentem os ACEs durante a pandemia da Covid-19?

Perguntados sobre seus sentimentos ao trabalhar durante a pandemia, 80% dos ACEs nomearam medo de contaminar seus familiares, e 75% medo de adoecer com Covid-19. Nessa questão, os entrevistados podiam assinalar até quatro alternativas. As respostas seguintes foram: 43% com sentimento de ansiedade; 36% de impotência; e 9% de raiva. Outros sentimentos, mais relacionados com seu papel profissional e seu comprometimento como trabalhadores do SUS, foram: 40% de compromisso com o bem da população; 32% de que seu trabalho como ACE poderia ser mais útil se voltado ao combate da pandemia do coronavírus; e 25% de obrigação de realizar seu trabalho.

Outro grupo de questões referia-se aos graus de cansaço, estresse, irritação, exigência e segurança no trabalho durante a pandemia, comparada ao período anterior. Os resultados foram os seguintes: no geral, 59% dos ACEs respondentes declararam mais cansaço do que antes da epidemia; 70% mais estresse; 60% mais irritação; 53,5% se sentiram mais exigidos no trabalho; e 75% menos seguros no trabalho do que antes da pandemia.

Os motivos para o sentimento de insegurança no local de trabalho elencados pelos ACEs foram: 62% por inadequação do lugar de trabalho; 51% devido ao transporte para o trabalho; 41% devido ao transporte durante o trabalho; 34% por falta de EPCs (por exemplo, sinalização, ventilação adequada etc.); 34% por má qualidade dos EPIs; 31% por falta de EPIs (por exemplo, máscaras, luvas etc.); 28% pela terceirização dos serviços; e 26% pela privatização dos serviços públicos, entre outros. Note-se que cada respondente poderia assinalar até quatro alternativas.

Questões sobre horas de sono e quantidade de alimentação buscaram identificar alterações corporais durante a pandemia, que podem ser indicadores de pré-disposição a algum adoecimento: 54% dos participantes da pesquisa responderam que estão dormindo menos do que antes da pandemia, e 8% que estão dormindo mais (no total, 62% alteraram suas horas de sono). Além disso, 36% dos ACEs responderam que estão comendo mais do que antes da pandemia, enquanto 21% passaram a comer menos (ou seja, 57% alteraram seu comportamento em relação à comida).

Em outro momento, pretendemos aprofundar esses resultados preliminares segundo sexo, cor e horas trabalhadas, pois cada um destes grupos pode ser afetado de forma diferente durante a pandemia.

Algumas considerações sobre possíveis comorbidades entre os ACEs agravadas em tempos de pandemia

Os riscos no exercício de uma atividade de trabalho são socialmente construídos. Os ACEs, ao combaterem arboviro-

ses, utilizam produtos comprovadamente cancerígenos nas fumigações contra os vetores de dengue, febre amarela e zika, entre outros. Entre os produtos utilizados, estão o organofosforado Malathion e os piretróides. Quando combatem os ratos, para depositar veneno nas tocas, adentram as margens de córregos insalubres e, se têm sorte, não sofrem ferimentos ou quedas nestas águas poluídas. Esterilizantes de ambientes e pulverizações com piretróides também vêm sendo usados pelos ACEs em torno dos terminais de ônibus e estações de metrô durante a pandemia da Covid-19, visando a maior higienização contra o vírus SARS-CoV-2.

Os sintomas mais frequentes da intoxicação por Malathion são: salivação excessiva, lacrimejamento, visão embaçada, constrição da pupila, náuseas, vômito, dor abdominal e dificuldade para respirar. Os mesmos sintomas dos trabalhadores aparecem também em parcelas das populações dos territórios onde houve a pulverização do produto (GOMES, 2014).

Não são raros os casos de alergias e intoxicações após o manuseio de produtos tóxicos pelos ACEs: dermatoses, dores de cabeça, enjoo, alterações no genoma e câncer (BASTOS *et al.*, 2018). Cabe assinalar que o adoecimento por câncer pode não ocorrer imediatamente após a exposição a esses produtos, mas pode se manifestar depois de 5, 10 ou 20 anos, fato que tende a inviabilizar o nexa epidemiológico com a atividade de ACE e, conseqüentemente, não ser considerado acidente de trabalho, sem direito à seguridade social.

Como a exposição às águas poluídas e o manuseio de produtos tóxicos pelos ACEs fazem parte de suas atribuições rotineiras, seja no preparo da mistura, transporte, aplicações etc., esses trabalhadores já podem estar com imunidade mais baixa, o que pode potencializar o adoecimento por Covid-19. Estudos futuros poderão explorar em profundidade as hipóteses aqui sugeridas.

Os ACEs, as nanotecnologias e a pandemia da Covid-19

Tantos desafios – relacionados às condições precárias de trabalho e ao desrespeito à cultura da segurança, a protocolos

sanitários e à vida de trabalhadores e trabalhadoras – necessitam de respostas também construídas socialmente na defesa dos direitos humanos e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (CIDH, 2020). Nada mais importante do que informar às populações e participar de ações comunitárias, de associações e de sindicatos para levar em frente a luta por suas reivindicações, ainda mais em tempos de pandemia.

Enquanto a pesquisa on-line com os ACEs, possibilitada pelas nanotecnologias (e isso foi ótimo!), esteve aberta recebendo respostas, aumentou a terceirização na saúde, houve tentativas de privatização dos serviços públicos, encolhimento de políticas públicas essenciais como o SUS e desmonte da Coordenadoria de Vigilância em Saúde (COVISA), vinculada à Secretaria Municipal de Saúde de São Paulo.

Enquanto os ACEs vivem no mundo cotidiano das condições precárias de trabalho e saúde no meio da pandemia, conforme os resultados da pesquisa aqui relatada, um mundo de maravilhas proporcionado pelas nanotecnologias vai sendo criado à parte: revestimentos nanotecnológicos para têxteis, que podem inativar o novo coronavírus em cinco minutos de contato, desinfetantes, máscaras de grafeno, revestimentos antimicrobianos e aplicações de dióxido de titânio, entre outras. O Observatório de Interações Nano/Covid-19 (OINaCov) – do Laboratório de Química do Estado Sólido do Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) – vem sistematizando todas essas informações sobre o combate ao SARS-CoV-2. Em outro momento, será importante analisar os artigos ali listados e verificar quantos deles estudaram (ou não) sua aplicação para eliminar ou minimizar os riscos à saúde dos trabalhadores, e também quantos avaliaram a quais novos riscos os trabalhadores serão expostos com a utilização desses novos nanomateriais.

Os ACEs, como trabalhadores da saúde na prevenção de doenças, promoção da saúde e vigilância ambiental, são sujeitos-chave na luta pela vida, principalmente durante a pandemia da Covid-19. Eles mesmos, conforme a pesquisa aqui relatada atesta, sentem-se solidários e comprometidos com a saúde dos munícipes. Sentem que poderiam ser muito mais

úteis na pandemia, mas que faltam planejamento e estratégias da gestão e do poder público no combate efetivo à disseminação do coronavírus.

Como estabelecer a convergência entre mundos tão díspares?

REFERÊNCIAS

- BASTOS, P. L.; BASTOS, A. F. T. L.; GURGEL, A. M.; GURGEL, I. G. D. Carcinogenicidade e mutagenicidade do malathion e seus dois análogos: uma revisão sistemática. **Ciência e Saúde Coletiva**, out. 2018. Disponível em: <http://www.cien.ciaesaudecoletiva.com.br/artigos/carcinogenicidade-e-mutagenicidade-do-malathion-e-seus-dois-analogos-uma-revisao-sistemica/17011>. Acesso em: 25 out. 2020.
- COMISIÓN INTERAMERICANA DE DERECHOS HUMANOS (CIDH). **Pandemia y derechos humanos en las Américas. Resolución 1/2020**. OEA, 10 abr. 2020.
- CUSICANQUI, Silvia R. Resistencias, insurgencias y luchas por la vida en tiempos de exterminios. In: GUALINGA, Patricia *et al.* **Senti-pensarnos tierra: epistemicidio y genocidio en tiempos de Covid-19**. Buenos Aires: CLACSO, 2020. Disponível em: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/119714/CONICET_Digital_Nro.62b8c408-7230-4c0a-a9a3-1e030d7cd5ef_B.pdf?sequence=8. Acesso em: 10 dez. 2020.
- GOMES, William. **Uso de inseticida (organofosforado) no combate à dengue e os possíveis danos à saúde pública na área urbana de Foz do Iguaçu-PR**. 2014. 42 f. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira, 2014. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/4606/1/MD_GAMU_NI_2014_2_75.pdf. Acesso em: 25 out. 2020.
- MAENO, Maria; DO CARMO, José Carlos. A Covid-19 é uma doença relacionada ao trabalho. **Forum Acidente do Tra-**

balho. São Paulo, 15 maio 2020. Disponível em: https://www.forumat.net.br/at/sites/default/files/arq-paginas/a_covid_doenca_relacionada_ao_trabalho_maeno_e_kal.pdf. Acesso em: 26 out. 2020.

OBSERVATÓRIO de Interações Nano/Covid-19 (OINaCov). Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/canal_cientifico/vivencia_lqes/vivencia_lqes_lqes_OINaCoV.html. Acesso em: 28 out. 2020.

PAULINO, Ana Yara. **Trabalho e saúde dos agentes de combate a endemias (ACEs):** pesquisa intervenção na cidade de São Paulo, Brasil. Projeto aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Parecer n. 3.308.081, de 07/05/2019. (Tese de doutorado em andamento sob orientação do Prof. Dr. Rodolfo Vilela, FSP/USP).

RODRIGUES, Rodrigo; BORGES, Beatriz; FIGUEIREDO, Patrícia. Morumbi tem mais casos de coronavírus e Brasilândia mais mortes. **G1 SP**, 18 abr. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2020/04/18/morumbi-tem-mais-casos-de-coronavirus-e-brasilandia-mais-mortes-obitos-crescem-60percent-em-uma-semana-em-sp.ghtml>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SINDSEP-SP. Projeto “Valorização profissional e da identidade dos agentes de combate

VENTURA, Deisy de Freitas Lima; AITH, Fernando Mussa Abujamra; RACHED, Danielle Hanna. The Emergency of the new Coronavirus and the “Quarantine Law” in Brazil. **Revista Direito e Práxis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/revistaceaju/article/view/49180/32954>. Acesso em: 25 mar. 2021.

SÍNTESE

Gláucia Nascimento de Souza¹

As palestras apresentadas nesta mesa tiveram como ponto comum a discussão sobre o desconhecimento da real utilização das nanotecnologias na sociedade: em veículos de informações como os jornais, como facilitador do trabalho dos agentes de combate durante as endemias ou em registros de formalização da atividade com nanopartículas.

O professor Paulo Fonseca desenvolveu pesquisa de “raspagem” com algoritmos e programas de computador para encontrar informações relacionadas ao termo “nanotecnologia”. Para tanto, ele selecionou dois jornais impressos de grande relevância e utilizou um recorte temporal coincidente com a pandemia da Covid-19. Mas os resultados encontrados não abordavam temas importantes como a segurança na utilização de nanopartículas de prata; regulamentações do risco; políticas públicas de fomento; a desigualdade proveniente da concentração de renda e a nano; ou o uso desta tecnologia no combate direto à Covid-19. A esta ausência Fonseca deu o nome de “desrepresentação”.

Indagado sobre a previsão “frustrada” de uma projeção de “evolução” da nanotecnologia na sociedade, o palestrante apresentou três hipóteses para a situação: o termo “nano” deixou de ser rótulo para várias tecnologias, ou seja, pela preocupação gerada na comunidade científica em relação à sua segurança, estrategicamente, deixou de ser interessante a associação com a terminologia “nano”; uma segunda possibilidade

¹ Mestra em Trabalho, Saúde e Ambiente. Chefe do Serviço de Laboratórios de Apoio à Pesquisa (SLAP) da FUNDACENTRO/SP. E-mail: glaucia.souza@fundacentro.gov.br.

seria a não aplicação do alto investimento previsto no setor; e, por fim, uma previsão superestimada.

A palestrante Ana Yara Paulino apresentou uma pesquisa realizada por meio de formulários on-line, respondida por diversas plataformas digitais, sobre as condições de trabalho dos agentes de combate a endemias no contexto da pandemia. Algumas perguntas, em especial, trouxeram informações que indicam as sensações envolvidas no ambiente laboral desses trabalhadores, como o sentimento sobre o trabalho e causas de insegurança, entre outras. Segundo a pesquisadora, é importante dar visibilidade a esses trabalhadores expostos a vários riscos e, especialmente, expostos ao chamado novo coronavírus. Há dois mundos distintos: um em que laboram pessoas em condições precárias de trabalho; outro que dispõe de pesquisas e tecnologias que poderiam se direcionar para proporcionar um trabalho mais salubre. Mesmo diante deste cenário, os agentes se sentem solidários no contexto pandêmico e pensam que poderiam ser mais úteis no combate à Covid-19; no entanto, faltam estratégias tanto da gestão quanto do poder público nesse sentido.

Questionada de que forma este cenário não previsto e, conseqüentemente, despreparado poderia contribuir para melhorias a serem aplicadas no dia a dia desses profissionais pós-pandemia, a palestrante contou que, ao realizar a devolutiva aos trabalhadores que participaram de sua pesquisa, verificou que os problemas apresentados pela categoria ou permaneceram ou se agravaram, e ainda que uma mesa de negociação permanente de melhorias seria uma mudança difícil. Para ela, haverá uma mudança de paradigma, que se dará principalmente nas relações de trabalho, como o teletrabalho.

A professora Raquel Von Hohendorff trouxe muitas reflexões sobre o contexto pandêmico em que vivemos e as situações que agravam o problema, como a terceirização; equipamentos de proteção individual (EPIs) não eficientes; a hipervulnerabilidade dos trabalhadores que se encontram nos setores essenciais da sociedade e as crises econômicas provenientes do contexto atual. Este cenário propõe um equilíbrio entre os direitos individuais e os interesses coletivos. Esta é

uma sociedade que passará por metamorfoses: certamente haverá mudanças de visão de mundo, grandes mudanças e adaptações.

A transdisciplinaridade que percorre, de um lado, os avanços das ciências físicas e, de outro, as ciências sociais, em especial o Direito, se entristece, porque o Direito continua sendo explicado segundo os métodos de Roma; o Direito não evoluiu – fica esperando que tudo aconteça para tomar uma atitude. Mas o Direito precisa se interessar pelo princípio da precaução. A nanotecnologia é um dos pilares da quarta revolução, mas ela ainda carece de estudos de riscos, responsabilidade pelos riscos e resíduos contaminantes e potencialmente perigosos, muito empregados, enquanto agências de controle não têm ciência.

A íntegra da Mesa “Nanotecnologia e transdisciplinaridade”, realizada on-line na tarde do dia 4 de novembro de 2020, durante o XVII Semináriosoma, da qual participaram Raquel Von Hohendorff, Ana Yara Paulino, Paulo Fonseca e Gláucia de Souza, pode ser acessada no canal da Renanosoma (NanoWebTV) no YouTube:

https://www.youtube.com/watch?v=pv_NnhCTmQQ



PARTE 3:
NANOTECNOLOGIA, PANDEMIA E TRABALHO

NANOTECNOLOGIA, COVID-19 E TRABALHADORES

Arline Sydneia Abel Arcuri¹

Tecnologia não deixa de ser a aplicação prática de um ou vários conhecimentos científicos. Este conhecimento é usado para produzir coisas. A nanotecnologia se baseia também em conhecimentos científicos: conhecimentos das propriedades da matéria (metais, substâncias químicas etc.), na escala nanométrica, para produzir coisas.

Um nanômetro é só uma unidade de medida; é um bilionésimo do metro. O SARS-CoV-2, vírus responsável pela Covid-19, é uma partícula na escala nanométrica. Tem cerca de 100 nanômetros.

Para se ter uma ideia do quanto este número é pequeno, pode-se fazer uma comparação com algum exemplo macro. A circunferência da Terra, na altura do Equador, é de cerca de 40 mil quilômetros, ou 40 milhões de metros, ou ainda 40 bilhões de milímetros. Duas voltas e meia na circunferência da Terra são, portanto, cerca de 100 bilhões de milímetros. A palma de uma mão de tamanho médio mede cerca de 100 milímetros. Assim, esta palma da mão, se comparada com duas vezes e meia o diâmetro da Terra, dá uma ideia do que representa um SARS-CoV-2, se comparado com um quarteirão (de mais ou menos 100 metros).

O SARS-CoV-2 é uma nanopartícula natural. A nanotecnologia manipula a matéria com nanopartículas produzidas intencionalmente.

1 Bacharel e licenciada em Química. Doutora em ciências na área de concentração físico-química. Pesquisadora da Fundacentro. Coordenadora do projeto “Impactos da nanotecnologia e outras novas tecnologias na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente” da Fundacentro (até 2019). E-mail: arline@fundacentro.gov.br

Material produzido na escala nano tem mudanças em suas propriedades, com relação ao mesmo tipo de substância em escala maior. Devido a estas mudanças, já há algum tempo, existe uma preocupação com os seus impactos na saúde dos trabalhadores e no meio ambiente.

Estas mudanças de propriedades se dão, basicamente, devido aos seguintes aspectos:

- Para uma mesma quantidade de material, à medida que se diminui o seu tamanho, há um aumento da relação superfície/volume. Este é um dos fatores responsáveis por novas propriedades físicas e químicas.
- A diminuição do tamanho para um mesmo volume/massa de material faz com que ocorra um aumento da área superficial das partículas.
- Isto provoca um grande aumento da energia superficial e, em consequência, da reatividade das partículas, o que, por exemplo, provoca um aumento na atividade catalítica de alguns materiais.
- Nesta dimensão nanométrica, o comportamento da matéria começa a ser dominado por efeitos quânticos, responsáveis por novas propriedades óticas, elétricas e magnéticas dos nanomateriais (PACHECO, s.d.).

Partícula em escala nano, como o vírus SARS-CoV-2, tem muito a ver com as características da doença Covid-19 e com a pandemia decorrente, pois, apesar dos vírus não serem produzidos pela nanotecnologia, eles são nanopartículas.

Estudos recentes indicam presença de vírus em partículas na poluição do ar, especialmente as ultrafinas, que também são nanopartículas. A partir desta descoberta, surgiu a dúvida: o vírus poderia “pegar carona” em partículas de poluição do ar? Estas partículas poderiam ser vetores do vírus? Estudos a este respeito apresentam resultados ainda preliminares, mas sugerem que altas concentrações de poluentes atmosféricos podem aumentar a persistência viral na atmosfera. Segundo Jones *et al.* (2020), nem todos os especialistas concordam com esta afirmação, pois há uma multiplicidade de fatores que podem estar relacionados em uma possível interfe-

rência da poluição nos casos de Covid-19. De qualquer forma, o impacto da poluição do ar (como um fator de risco potencial e/ou como um novo vetor para o vírus) é algo que precisa ser considerado cuidadosamente (JONES *et al.*, 2020).

A própria nanotecnologia tem relações com a pandemia. A rapidez com que foi determinada a sequência genética do vírus, assim como suas mutações, só foi possível com equipamentos desenvolvidos com nanotecnologia, e sua convergência com outras tecnologias (NANOPORE, s.d.; INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2014; KASVI, 2018). s.d.

Também pelo desenvolvimento das novas tecnologias, em grande parte com subsídios da nanotecnologia, através da chamada convergência tecnológica, atualmente é possível a rápida troca de informações, inclusive com fotos, vídeos e reuniões virtuais cada vez mais eficientes entre numerosos cientistas ao redor do mundo. Esta troca de informações e experimentos tem contribuído para o melhor conhecimento sobre a Covid-19, as mutações do vírus, os medicamentos que estão sendo testados, o número de casos de pessoas acometidas e que vêm a falecer, e as consequências da doença que continuam, mesmo em indivíduos considerados “curados”.

Um exemplo do aumento rápido da velocidade de troca de informações pode ser constatado com o caso do surto de SARS-CoV-1 de 2003. Naquele ano, as amostras do vírus levaram semanas para chegar da China. No caso do chamado novo coronavírus, o SARS-CoV-2, apenas dez dias após ele ter sido relatado pela primeira vez à Organização Mundial da Saúde, em 31 de dezembro de 2019, a sequência do genoma do vírus foi publicada por pesquisadores na China, com muito menos custo, e cientistas de todo o mundo começaram a desenvolver testes de diagnóstico para a doença (SNYDER, 2020).

Também com o auxílio destes novos equipamentos foi possível identificar os principais mecanismos de ação do SARS-CoV-2. O vírus usa principalmente a enzima conversora de angiotensina 2 (ACE2) como um receptor celular para invadir células humanas. Portanto, a ACE2 é uma das chaves para a compreensão do mecanismo de infecção por SARS-CoV-2. Esta enzima está presente em vários tecidos humanos, o que

explica a ação sistêmica do vírus (LI *et al.*, 2020; JONES *et al.*, 2020). Porém, apesar dos avanços no conhecimento do mecanismo de ação deste vírus, ainda há muito a ser entendido.

A nanotecnologia pode atuar diretamente em várias etapas do enfrentamento à Covid-19: no diagnóstico, na terapia/tratamento e na vacinação (MEDHI *et al.*, 2020; ZUCOLOTTO, 2020).

Já há nanomateriais para o diagnóstico da doença. Um destes materiais envolve, por exemplo, em uma explicação simplificada, nanopartículas de ouro conjugadas com anticorpos contra o vírus. Se o vírus estiver presente no sangue ou urina da pessoa, ele é capturado pela nanopartícula e a solução muda de cor (UDUGAMA *et al.*, 2020; RUIZ-HITZKY *et al.*, 2020). Este é um teste rápido e não envolve a necessidade de laboratórios e profissionais especializados.

Outro exemplo é o sistema desenvolvido pelo pesquisador Seo (2020, apud ZUCOLOTTO, 2020), que detecta o vírus SARS-CoV-2 em concentrações muitíssimo baixas, da ordem de femtoMolar (10^{-15} m), utilizando grafeno.

Na Universidade de Ciência e Tecnologia da China, cientistas desenvolveram um método que se baseia na presença de coronavírus na respiração exalada. Trata-se de uma matriz de sensores de nanopartículas de ouro. O equipamento opera como se fosse um bafômetro (BRASIL, 2020).

Medicamentos em escala nanométrica também podem ser aplicados no tratamento da doença. Eles podem inibir os efeitos da infecção viral de várias maneiras, incluindo o bloqueio da ligação do vírus com o receptor e a entrada na célula, impedindo a replicação e proliferação do SARS-CoV-2 e inativando-o diretamente. Porém, ainda não há indicação de medicamentos que sejam seguros para as pessoas infectadas (JONES *et al.*, 2020; MEDHI *et al.*, 2020).

Outro exemplo de terapia pode ser encontrado em trabalho de Dormont (2020, apud ZUCOLOTTO, 2020). Neste trabalho, são utilizadas nanocápsulas que carregam um fármaco (o alfa-tocoferol) e o liberam dentro da célula. Este fármaco tem a propriedade de diminuir os efeitos da inflamação aguda, que, em muitos casos, é responsável pelo agravamento da Covid-19.

Vacinas são desenvolvidas para ajudar o organismo a criar anticorpos. Há vários tipos de vacinas propostas envolvendo nanotecnologia. Alguns exemplos de vacinas – desenvolvidas para outros tipos de vírus e que também poderiam ser usadas para o SARS-CoV-2 – utilizam dois tipos de nanopartícula de ouro de 40 e 100 nanômetros de diâmetro ou à base de polímeros (SEKIMUKAI, 2020 apud ZUCOLOTTI, 2020). Estas nanopartículas foram ligadas a proteínas dos vírus e conseguiram induzir respostas imunológicas em testes.

Através da nanotecnologia também vêm sendo desenvolvidas vacinas que utilizam nanoencapsulamento de parte do vírus, em nanopartículas lipídicas, por exemplo (MEDHI *et al.*, 2020). Porém, o fato de darem resultados no laboratório não necessariamente garante que também funcionem em seres humanos. Não é porque deu resultado positivo *in vitro* que também dará quando usada em seres humanos. “A nanotecnologia pode fornecer novas terapêuticas e vacinas para enfrentar a pandemia em curso; no entanto, como todas as novas terapias, os nanomedicamentos primeiro precisam ser comprovados como seguros” (JONES *et al.*, 2020).

Com nanotecnologia também vêm sendo desenvolvidos produtos para prevenir a introdução do vírus no organismo ou o contato com superfícies contaminadas. São desenvolvidos nanomateriais para serem aplicados em Equipamentos de Proteção Individual (EPI), como máscaras, luvas, aventais etc. Também há produtos para desinfecção de superfícies.

Já há no mercado, por exemplo, produtos com nanopartícula, que chegam a destruir mais de 99% dos vírus. Esta nanopartícula tem sido utilizada em luvas, máscaras, roupas e até em spray a ser espalhado pelo ambiente. Há diversos outros tipos de nanopartículas que possuem efeitos bactericidas e antivirais. Beyth *et al.* (2015) trazem uma revisão de inúmeros materiais nanoestruturados que podem ter esta capacidade, mas alertam sobre a necessidade de estudos sobre sua possível toxicidade. Segundo os autores:

muitos fatores ambientais desempenham um papel e afetam a letalidade do nanomaterial para as bactérias, incluindo aeração, pH e temperatura. As propriedades físico-químicas das

partículas, incluindo tamanho, forma, modificação química, revestimento e mistura em várias proporções com outras nanopartículas e solventes, afetam grandemente sua atividade antibacteriana. Assim, com essa complexidade, não é de se admirar que grande parte do modo de ação antibacteriana do nanomaterial e do nível de risco que representa ainda seja obscura e podem ser encontrados na literatura relatos contraditórios sobre eles. (BEYTH *et al.*, 2015)

Artigos que abordam a relação entre a Covid-19 e os trabalhadores destacam, basicamente, a possibilidade de contaminação nos ambientes de trabalho. A contaminação ocorre, principalmente, por gotículas de saliva, através da proximidade com pessoas infectadas. Em determinadas circunstâncias, a presença em espaços fechados onde está ou esteve pessoa infectada, e a exposição prolongada a partículas respiratórias, muitas vezes geradas por esforço expiratório, ventilação ou tratamento de ar inadequado, também podem contaminar (CDC, 2020).

Alguns estudos mostram que o vírus pode ficar no ambiente na forma de aerossóis até por dias, dependendo da umidade local, ventilação e outros fatores. Pode também haver contato com superfícies contaminadas, embora esta forma de contaminação não seja a mais importante, segundo algumas pesquisas. Ambientes com estas características são encontrados especialmente em hospitais, ambulatórios médicos e outros setores da saúde, mas também em ambientes de trabalho, como frigoríficos no Brasil, que já apresentam um índice de contaminação estimado em até 25% dos mais de 500 mil trabalhadores (VILARINO, 2020).

Já há vários pesquisadores e outros profissionais especialmente preocupados com a saúde dos trabalhadores, que chamam atenção para os que vão produzir os nanomateriais, a serem demandados pela pandemia. Como é a proteção deles para que não se exponham?

Por exemplo, já se sabe há muito tempo que as nanopartículas de prata podem produzir efeitos tóxicos no organismo. Elas possuem um alto espectro bactericida, além de outras consequências. Segundo um artigo recente, “riscos tóxicos do uso de nanopartículas de prata no combate ao coronavírus geram preocupação em cientistas” (PATISEG, 2020).

A preocupação, porém, não se limita à produção de materiais com nanop prata. Já existem no mercado produtos com outros nanomateriais. Há vários produtos, por exemplo, estudados e patenteados para uso, como desinfetantes e sanitizantes (CAMPOS *et al.*, 2020).

Além da preocupação com a possível toxicidade dos nanomateriais que estão sendo produzidos e utilizados, outras consequências estão ocorrendo com o desenvolvimento das nanotecnologias. O conhecimento sobre o comportamento da matéria foi aproveitado por outras tecnologias, como a informática, a biotecnologia e as ciências cognitivas, que estudam o funcionamento do cérebro. Este fenômeno é conhecido como convergência tecnológica.

Esta convergência é que possibilita, hoje, o trabalho em casa, trabalho decorrente do uso de plataformas digitais, usualmente chamado de uberização, que já atinge inúmeras atividades envolvendo variadas ocupações (ANTUNES; FILGUEIRAS, 2020). Nos estudos desenvolvidos na Fundacentro, esta questão é abordada já há algum tempo. Pontes (2017) já registrava a precarização do trabalho e suas várias dimensões, em função destas novas tecnologias:

Ressaltamos que o trabalho precário possui diversas dimensões, entre elas: as formas de inserção e de contrato; a informalidade, a terceirização, a desregulamentação e flexibilização da legislação trabalhista; o desemprego; o adoecimento, os acidentes de trabalho, a perda salarial e a fragilidade da representação sindical.

Estes processos de trabalho não começaram com a pandemia, mas ela acelerou em muito a implantação destas novas formas de trabalho, possíveis em função da convergência tecnológica, aumentando a precarização do trabalho. A aceleração do trabalho de vários profissionais em casa é uma das características desta pandemia. Vários estudos demonstram o impacto deste tipo de trabalho, o que levou o GT Nacional Covid-19 e o GT Nanotecnologia/2020, com a finalidade de preservar a saúde e os demais direitos fundamentais dos trabalhadores e trabalhadoras no trabalho remoto ou *home office*, a lançarem a Nota Técnica nº 11/2020

– Diretrizes a serem observadas em teletrabalho *home office* (MPT, 2020).

Outro fato acelerado em função da pandemia, e decorrente das novas tecnologias, é o aumento da facilidade de comunicação entre empresa e trabalhadores, e entre trabalhadores e sindicatos ou associações, tendo como consequência o aumento da possibilidade de vigilância. Experiências, queixas, relatos de assédio e opiniões sobre diversos assuntos ficam registrados e poderão ser usados para maior controle dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Ricardo; FILGUEIRAS, Vitor. Plataformas digitais, uberização do trabalho e regulação no capitalismo contemporâneo. **Contracampo**, Niterói, v. 39, n. 1, p. 27-43, abr./jul. 2020. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/contracampo/article/view/38901/html>. Acesso em: 2 nov. 2020.
- BEYTH, N. *et al.* Alternative Antimicrobial Approach: Nano-Antimicrobial Materials. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, ID 246012, 16 p., 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/246012>. Acesso em: 1 nov. 2020.
- BRASIL. Ministério da Economia. Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Testes para Diagnóstico. **gov.br**, 23 mar. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/tecnologias-para-covid-19/Diagnostico>. Acesso em: 29 out. 2020.
- CAMPOS, E. V. R. *et al.* How can nanotechnology help to combat Covid-19? Opportunities and urgent need. **J Nanobiotechnol**, v. 18, n. 125, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12951-020-00685-4>. Acesso em: 2 nov. 2020.
- CDC (Centers for Disease Control and Prevention). **Scientific Brief: SARS-CoV-2 and Potential Airborne Transmission**. 5 out. 2020. Disponível em: <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/science/science-briefs/scientific-briefs-sars-cov-2.html>. Acesso em: 2 nov. 2020.

- JONES, G. W. *et al.* No small matter: a perspective on nanotechnology-enabled solutions to fight Covid-19. **Nano-medicine**, v. 15, n. 24, p. 2411-2427, 2020. Disponível em: <https://www.futuremedicine.com/doi/pdf/10.2217/nnm-2020-0286>. Acesso em: 30 out. 2020.
- KASVI. Sequenciamento de DNA: desvendando o código da vida. **KASVI**, 20 abr. 2018. Disponível em: <https://kasvi.com.br/sequenciamento-de-dna-desvendando-o-codigo-da-vida/>. Acesso em: 29 out. 2020.
- LI, M. *et al.* Expression of the SARS-CoV-2 cell receptor gene ACE2 in a wide variety of human tissues. **Infect Dis Poverty**, v. 9, n. 45, 2020. Disponível em: <https://idpjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40249-020-00662-x>. Acesso em: 30 out. 2020.
- MEDHI, R. *et al.* Nanoparticle-Based Strategies to Combat Covid-19. **ACS Appl Nano Mater**, 25 ago. 2020. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7482545/>. Acesso em: 30 out. 2020.
- MINISTÉRIO PÚBLICO DO TRABALHO (MPT). NOTA TÉCNICA – GT COVID-19 – 11/2020. **MPT**, 17 jun. 2020. Disponível em: <https://mpt.mp.br/pgt/noticias/nota-tecnica-n-11-2020-trabalho-on-line-de-professores-gt-covid-19-mpt.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2020.
- NANOPORE. **A nanopore is a very small hole**. Disponível em: <https://nanoporetech.com/how-it-works>. Acesso em: 27 out. 2020.
- PACHECO, M. A. C. **Uma Introdução à Nanotecnologia**. Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada (ICA), Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio. Disponível em: <https://betaeq.com.br/wp-content/uploads/2017/01/usos-nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 26 out. 2020.
- PONTES, J. M. A nanotecnologia e seus impactos éticos e sociais no mundo do trabalho. Notas de aula. **ResearchGate**, jul. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318725941_A_Nanotecnologia_e_seus_Impactos_Eticos_e_Sociais_no_Mundo_do_Trabalho. Acesso em: 2 nov. 2020.

PREVENÇÃO DE ACIDENTE NO TRABALHO, INCÊNDIO E SEGURANÇA (PATISEG). Riscos tóxicos do uso de nanopartículas de prata no combate ao coronavírus geram preocupação em cientistas. **Portal de Notícias PATISEG**, 26 ago. 2020. Disponível em: <https://patisegnoticias.com.br/2020/08/28/riscos-toxicos-do-uso-de-nanoparticulas-de-prata-no-combate-ao-coronavirus-geram-preocupo-em-cientistas/>. Acesso em: 2 nov. 2020.

RUIZ-HITZKY, E. *et al.* Nanotechnology Responses to Covid-19. **Adv. Healthcare Materials**, n. 9, ID 2000979, 3 set. 2020. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/adhm.202000979>. Acesso em: 29 out. 2020.

NANOTECNOLOGIA automatiza sequenciamento do DNA. **Inovação Tecnológica**, 9 set. 2014. Disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=sequenciamento-genetico-nanotecnologia>. Acesso em: 29 out. 2020.

SNYDER, A. Pandemic science speeds up – but there are limits. **Axios**, 21 maio 2020. Disponível em: <https://www.axios.com/coronavirus-pandemic-science-speed-bd6f9a9b-9cd0-4d2e-9fcb-19c259883b7b.html>. Acesso em: 30 out. 2020.

UDUGAMA, B. *et al.* Diagnosing Covid-19: The Disease and Tools for Detection. **ACS Nano**, v. 14, n. 4, p. 3822-3835, 2020. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsnano.0c02624>. Acesso em: 29 out. 2020.

VILARINO, C. Trabalhadores cogitam greve caso Covid-19 não seja contida nos frigoríficos brasileiros. **Globo Rural**, 18 ago. 2020. Disponível em: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Criacao/noticia/2020/08/trabalhadores-cogitam-greve-caso-covid-19-nao-seja-contida-nos-frigorificos-brasileiros.html>. Acesso em: 2 nov. 2020.

ZUCOLOTTO, V. A importância da Nanotecnologia no combate à Covid-19. **Instituto de Física de São Carlos, USP**, 26 jun. 2020. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/nanotecnologia-e-covid-19/>. Acesso em: 31 out. 2020.

FORMAÇÃO SINDICAL E INCORPORAÇÃO DE PROGRESSO TÉCNICO: ANÁLISE DE UMA EXPERIÊNCIA COM NANOTECNOLOGIAS NO BRASIL

Thomaz Ferreira Jensen¹

A crise econômica e social no Brasil, aprofundada pela pandemia de Covid-19, agrava os tremendos desafios já colocados aos trabalhadores, ameaçando a vida e tornando cada vez mais precárias as condições de inserção no trabalho. O contexto pandêmico abre, ao mesmo tempo, oportunidade histórica para que os trabalhadores e suas entidades representativas revolucionem suas estratégias de organização, buscando alternativas para barrar iniciativas até aqui impostas pelo capital, através do Estado, para enfraquecer a ação coletiva dos trabalhadores, e ousando nas práticas de formação com os trabalhadores.

Na última década do século XX, o sindicalismo global se viu diante de grandes desafios: desde a emergência da financeirização como padrão de valorização do capital e de dinâmica do capitalismo até a 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 pelos termos e condições colocadas pela iniciativa das corporações

1 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). É membro da Rede Social de Justiça e Direitos Humanos. E-mail: thomaz@dieese.org.br

industriais, com negociações coletivas que, na maioria das vezes, não interferiram no ritmo e intensidade das novas tecnologias que alteraram o padrão produtivo industrial no país.

Os debates sobre concepção de educação no sindicalismo brasileiro ganham relevância já no final da década de 1960, num contexto marcado por crescente discussão sobre a 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 etc.) que se reconfiguravam aceleradamente pela reestruturação produtiva e gerencial.

Em outros termos, 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 para o setor de serviços as oportunidades de ocupação surgidas por essa nova onda de modernização conservadora de padrões de consumo (internet, celular etc.).

Os principais programas de formação sindical entre 1995 e 2010 foram, de fato, processos de capacitação para moldar dirigentes sindicais e seus assessores à 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 não obedeciam nem mesmo às regras das boas práticas de diálogo social e conces-

sões 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 seus sindicatos pelo mercado de trabalho brasileiro, marcado por heterogeneidades estruturais decorrentes do subdesenvolvimento e da dependência externa, que ainda conformam a economia brasileira. Trata-se de uma exceção 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 dessas 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 eram encontradas nas principais corporações químicas, farmacêuticas e eletrônicas no final da década de 1980. A introdução de nanotecnologias potencializou a criação de novas moléculas e, portanto, novos produtos e aplicações pela indústria.

Ainda são pouco conhecidos os efeitos biológicos da nanotecnologia sobre o meio ambiente e os seres humanos, gerando preocupação sobre riscos e danos. Esse é um forte motivo para a sociedade abrir amplo debate sobre o assunto, especialmente 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 esses novos materiais. Sendo assim, vários trabalhos internacionais já têm abordado o tema da segurança e saúde nesses ambientes (NIOSH, 2012).

Com base na Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), do extinto Ministério do Trabalho e Emprego, em 2017

havia 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; portanto, potencialmente expostos às nanotecnologias. Esses trabalhadores são aqueles que, hoje, devem já estar em contato com a manipulação de nanopartículas, 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, onde 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 dessas corporações aqui instaladas, numa relação intrafirma que escapa totalmente ao controle público, seja da sociedade, seja dos órgãos do Estado que deveriam se encarregar dessa regulação.

Informações mais recentes dão conta de que, no Brasil, existem cerca de duzentas empresas envolvidas com projetos e desenvolvimento de produtos em nanotecnologia, interagindo com o setor acadêmico e utilizando recursos públicos para pesquisa (CNPq, FINEP, BNDES). Cerca de 50 dessas empresas estão localizadas no estado de São Paulo, sobretudo nas indústrias químicas – materiais médicos, farmacêuticas e cosméticos (INVERNIZZI, 2011). Entre elas, para citar apenas as mais importantes dos setores químico e farmacêutico, estão: Akzo Nobel, Artecola, Basf, Biolab, Braskem, Dow, Elekeiroz, Eurofarma, L'Oréal, 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. Essa é uma das características do mundo do trabalho no Brasil. As nanotecnologias começaram 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 entida-

des sindicais que representam trabalhadores na indústria da alimentação. No ramo químico, especificamente, o tema apareceu pela primeira vez no V Congresso da Confederação Nacional do Ramo Químico (CNQ) da CUT, realizado em junho de 2007, em que se definiu pela necessidade de ampliar o debate sobre o assunto, 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. Marco decisivo para a difusão das nanotecnologias como tema de preocupação sindical no Brasil foi a divulgação de nota técnica do DIEESE, em outubro de 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 FETQUIM da CUT no estado de São Paulo, que reivindicou a inclusão de cláusula específica sobre nanotecnologia na Convenção Coletiva do Ramo Químico. O objetivo da negociação era adicionar o tema à Convenção, no sentido de garantir aos membros da Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (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 recomendação para as CIPAs abordarem o tema com os trabalhadores nas Semanas Internas de Prevenção de Acidentes (SIPATs). A partir dessa inclusão, coube aos Sindicatos e à FETQUIM organizarem processos formativos que contribuíram para que os trabalhadores e os membros das CIPAs efetivassem tal recomendação, o que abriu importantes brechas para a escuta dos trabalhadores e a coleta de informações em empresas da indústria química que já adotavam 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 prazo, e a decorrente definição dos potenciais aliados e reais

opponentes, a medição de suas forças e 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 esforços adicionais de dirigentes sindicais e assessorias técnicas comprometidas 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 compreender o que está acontecendo e quais os interesses envolvidos, potencializar o interesse em aumentar o conhecimento e estudar para dar respostas criativas, e tornar-se

protagonistas capazes de dar novos sentidos para as mudanças que impactarão a vida de todos. A partir de um projeto estratégico bem definido e 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, mobilizador 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 abril daquele ano entre a FETQUIM e o Sindicato da Indústria de Produtos Farmacêuticos no estado de São Paulo (SINDUSFARMA) registrou, pela primeira vez na história do sindicalismo brasileiro – e, possivelmente, mundial – uma cláusula específica sobre nanotecnologias.

A FETQUIM apresentou reivindicação específica sobre direito à informação sobre nanotecnologias ao SINDUSFARMA, 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 apenas, assim como havia acontecido no ano anterior com as demais indústrias químicas, incluir o tema como recomendação às SIPATs, o que aconteceu. A partir daí, o Movimento Sindical intensificou a abordagem do tema em atividades de formação, como cursos com membros de CIPAs, e elaborou, como material de apoio pedagógico, história em quadrinhos sobre a presença da nanotecnologia nas indústrias químicas, mostrando as incertezas sobre os impactos à saúde dos trabalhadores e dos consumidores, bem como o efeito dessa nova tecnologia ao meio ambiente, que as empresas teimavam em apresentar como uma maravilha sem riscos (JENSEN, 2010).

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 eles, estavam as na-

notecnologias 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: “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 adotar”.

É fundamental destacar que essa 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, mais de 55 mil trabalhadores são abrangidos pela cláusula conquistada, dos quais cerca de 34% em áreas críticas de exposição a nanopartículas, ou seja, em laboratórios e na produção. Lamentavelmente essa conquista segue restrita aos trabalhadores nas indústrias farmacêuticas no estado de São Paulo, dado que as representações patronais dos demais setores industriais químicos seguem negando o direito básico à informação sobre o uso de nanotecnologias nos processos produtivos nas indústrias químicas. Há 12 sindicatos patronais, organizados na FIESP, abrangendo da petroquímica à transformação plástica, passando por cosméticos, tintas e aditivos.

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 FE-TQUIM, 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 participa-

ção 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 CIPAs. As entidades sindicais colocaram-se não apenas como sindicato, mas como movimento social, que vai muito além da negociação de porta de fábrica, buscando ser uma força política de pressão sobre o Estado e lutando por orientações políticas muito mais gerais, que alcançam os trabalhadores como um todo. A despeito da fragmentação e da perda de poder dos sindicatos, o sindicalismo em movimento vem mostrando sua força numa nova dimensão, muito mais rica, como movimento social de contestação da ordem vigente e de não aceitação dessas 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 num período histórico em que o Estado está completamente submisso às imposições do capital transnacional.

REFERÊNCIAS

- DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS (DIEESE). **Nanotecnologia: conhecer para enfrentar os desafios**. Nota Técnica 76. São Paulo, out. 2008. Disponível em: <http://www.dieese.org.br/notatecnica/2008/notatec76Nanotecnologia.pdf>. Acesso em: 24 out. 2020.
- INVERNIZZI, N. Nanotechnology between the lab and the shop floor: what are the effects on labor? **Journal of Nanoparticle Research**, n. 13, v. 6, p. 2249-2268, 2011.
- JENSEN, Thomaz Ferreira. **Nanotecnologias: maravilhas e incertezas no universo da química**. São Paulo: Fundacentro, 2010. Disponível em: http://arquivosbiblioteca.fundacentro.gov.br/exlibris/aleph/u23_1/bd/HQ2-2011.pdf. Acesso em: 24 out. 2020.

NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories. Cincinnati, Ohio, EUA, maio 2012. Disponível em: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/pdfs/2012-147.pdf>. Acesso em: 24 out. 2020.

QUESTÕES POSTAS PELO USO INTENSIVO DA NANOPRATA

Valéria Ramos Soares Pinto¹

A prata é conhecida e utilizada por suas propriedades antimicrobianas há milhares de anos. Há evidências de seu uso desde pelo menos 3000 a.C., quando os antigos persas e egípcios a usavam para manter sua água limpa e segura. Os gregos e os romanos também usavam a prata como bactericida e antibiótico. Durante o século XIX, a prata era clinicamente aplicada em tratamentos de olhos e úlceras de pele. Na medicina atual, a prata é reconhecida por suas propriedades antimicrobianas, capaz de matar cerca de 650 organismos patogênicos (EUON, 2020; HAI, 2016).

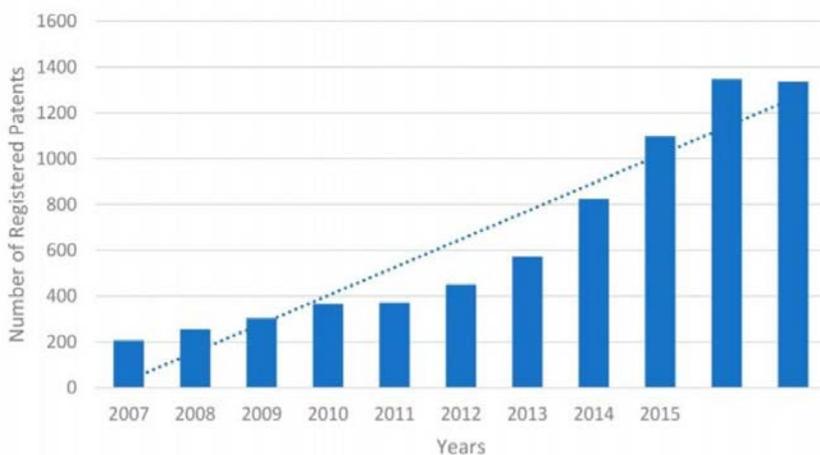
Quando a prata é reduzida a dimensões nanométricas, seu potencial germicida é amplificado; comparando com a mesma massa, a performance é maior em nanoescala. Em nanoescala, a prata pode ser incorporada mais facilmente em diversos produtos do que em tamanho usual. Atualmente, a maior aplicação da prata/nanoprata é na prevenção de infecções locais recorrentes e de longo prazo, como queimaduras, feridas traumáticas e úlceras diabéticas. Também é usada em revestimento de cateteres e outros dispositivos implantados no corpo. Além das aplicações na medicina, produtos de consumo doméstico e desinfecção de água, e equipamentos contendo prata e nanopartículas de prata (AgNPs) se expandem tremendamente. Aliada a sua eficácia bactericida em baixa concentração, a relativa toxicidade limitada de prata iônica para células humanas, o avanço na produção de AgNPs e a fa-

¹ Engenheira química e de segurança do trabalho, mestra em engenharia de produção, tecnóloga do Centro Regional Sul (Fundacentro). E-mail: valeriarspinto@gmail.com.

cilidade de sua aplicação em polímeros têm despertado cada vez mais o interesse por esse metal, como algo novo (MAILLARD; HARTEMANN, 2013).

A prata é o nanomaterial mais aplicado e encontrado em maior número de produtos de consumo. De acordo com o Project on Emerging Nanotechnologies (PEN apud MAILLARD; HARTEMANN, 2013), seu uso vem crescendo, como pode ser observado pela evolução do número de patentes no mundo, conforme figura 1.

Figura 1 – Número de patentes registradas por ano

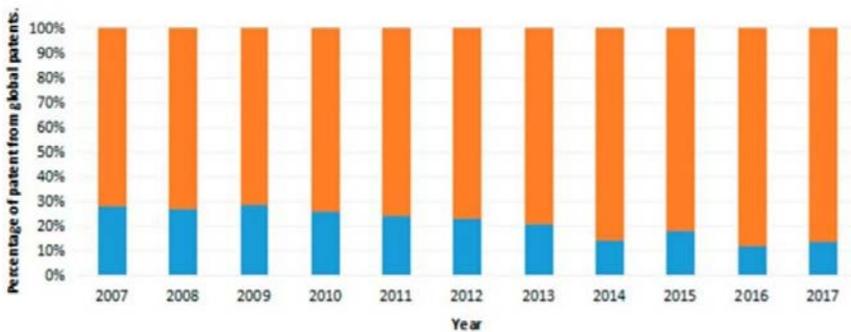


Fonte: (SIM *et al.*, 2018).

A nanop prata é utilizada em diversas aplicações, em várias matrizes, como compósitos, coloides, fibras, géis, revestimentos, membranas, filmes finos e embalagens de alimentos (MAILLARD; HARTEMANN, 2013). O campo de aplicação vem aumentando e inclui dispositivos para medicina, uso agrícola e industrial, e materiais de consumo e uso doméstico (SIM *et al.*, 2018; MAILLARD; HARTEMANN, 2013). O maior crescimento da nanop prata (em diversas formas de aplicação) foi em produtos de consumo e não na medicina, como pode ser observado na figura 2. Esses produtos variam muito: utensílios de cozinha, talheres, recipientes para alimentos, máquinas de lavar roupas e pratos, refrigeradores, aspiradores, teclados de

computadores, tintas aplicadas em superfícies de produtos, chinelos, meias, forros de sapatos, edredons, lençóis, coberturas de colchões, produtos de higiene pessoal, sabões, amaciadores de roupas e até produtos para bebês, como chupetas (LUOMA, 2008). Em mil produtos de consumo, cerca de um quarto contém nanop prata (VARNER *et al.*, 2010) e, em apenas dez anos, cerca de cinco mil novas aplicações foram registradas (SIM *et al.*, 2018).

Figura 2 – Percentual de patentes de produtos médicos e outros tipos de produtos, registradas por ano



Fonte: (SIM *et al.*, 2018).

Ao mesmo tempo em que os benefícios têm sido um atrativo, diversas publicações apontam os riscos do seu uso intensivo, como danos ao meio ambiente e resistência bactericida à prata (SIM *et al.*, 2018; MAILLARD; HARTEMANN, 2013). A dose resposta, em diversos sistemas no qual é incorporada e nos ambientes, não foi sistematicamente estudada (LUOMA, 2008). Em relação a efeitos tóxicos, é conhecido o resultado de ingestão de grandes quantidades de prata, comumente existente em suplementos alimentares, causando doenças como a argíria, que, embora não tenha consequências à saúde, tem impacto estético, uma vez que a pele fica azul e é irreversível. Há ainda uma deficiência muito grande de estudos toxicológicos das nanopartículas de prata. O foco, até então, tem sido na toxicidade e distribuição nos tecidos. As AgNPs são um risco potencial à saúde humana, uma vez que podem se tornar disponíveis sistemicamente após a exposição, conforme evi-

denciado por sua acumulação preferencial no fígado. Outros aspectos toxicológicos já foram apontados, como estresse oxidativo, e necessitam ser mais bem estudados. Segundo pesquisadores, fatores como tamanho e morfologia influenciam a toxicidade (LIU *et al.*, 2010 apud MAILLARD; HARTEMANN, 2013).

A falta de dados sobre efeitos nocivos da nanop prata em humanos e ao meio ambiente, segundo aponta Luoma (2008), baseado em publicações de diversos pesquisadores, está relacionada à pouca experiência e conhecimento sobre seus efeitos esperados. Apesar das diversas vantagens apontadas, o Observatório Europeu para Nanomateriais (EUON, 2020) ressalta que a prata é uma toxina e que não há evidências suficientes sobre os reais benefícios da adição da nanop prata em diversos materiais. Além disso, apesar do uso tão intensivo em diversos produtos com prata e nanop prata, as diferentes metodologias utilizadas nos testes, com resultados diferentes e em condições que não refletem a situação real, colocam em dúvida sua eficácia. Assim, o uso de prata ou nanopartículas de prata, em baixa concentração, em diversos materiais e superfícies, precisa ainda ser avaliado e justificado adequadamente (MAILLARD; HARTEMANN, 2013). O relatório do Healthcare Associated Infections (HAI, 2016) apontou muito pouca evidência desses benefícios. As incertezas também pairam sobre a real presença de nanop prata nos produtos, uma vez que a presença desse metal nessa escala não precisa ser especificada no rótulo (EUON, 2020).

Em relação ao meio ambiente, há vários aspectos a serem considerados. O íon da prata é o segundo mais tóxico, entre os metais pesados, ficando atrás apenas do mercúrio, sendo que a toxicidade a peixes e outras vidas aquáticas depende da espécie de prata presente. A Agência Norte-Americana de Meio Ambiente considera a prata como poluente de águas naturais prioritário (MAILLARD; HARTEMANN, 2013; LUOMA, 2008). Estima-se que, a cada ano, aproximadamente 2.500 toneladas de prata são liberadas no meio ambiente, sendo que, dessas, 150 toneladas vão para o lodo de estações de tratamento de águas residuais e oitenta toneladas são liberadas em

águas superficiais (MAILLARD; HARTEMANN, 2013). A prata é classificada como risco ambiental, em função de sua toxicidade, podendo ser, de acordo com as circunstâncias, biopersistente e bioacumulativo.

Em 2007, cerca de um terço dos produtos contendo nanoprata tinham potencial de liberar prata no meio ambiente, havendo muitas lacunas de informações a esse respeito. A prata é tóxica em concentrações iguais ou superiores a 50 ng/L, sendo que um estudo de caso de nanoprata, bem consistente, demonstrou sua toxicidade para o desenvolvimento de embriões de peixes em concentrações mais baixas (LUOMA, 2008). Quando foi elaborado o relatório para o PEN, Luoma (2008) afirmou que havia falta de informações sobre efeitos adversos da nanoprata ao meio ambiente, assim como uma carência em rotina de vigilância ambiental de nanomateriais, entre eles a nanoprata.

Uso da nanoprata no combate ao novo coronavírus

As propriedades bactericidas da prata aumentam proporcionalmente com sua concentração, sendo que, na escala nano, o seu efeito é maior em concentrações menores, devido ao aumento dessas propriedades nessa escala (STATNANO, 2017). Diversos materiais nanoestruturados, como grafeno, nanodiamante, nanofibras de polímeros e nanopartículas de prata, dióxido de titânio e óxido de cobre, são usados a fim de agregar propriedades antivirais e antibacterianas a uma série de produtos, tanto em ambientes da saúde como para população geral, incluindo máscaras respiratórias, luvas, roupões, aventais, sabonetes, sanitizantes, desinfetantes, xampus e detergentes.

Com a pandemia de Covid-19, surgiu uma grande demanda por esses produtos com essas características (STATNANO, 2017). A prata já foi testada em muitas cepas de bactérias, inibindo seu crescimento, assim como em fungos, com menos evidências neste caso, e menos ainda contra vírus, apesar das controvérsias (LUOMA, 2008).

Exemplos de produtos no mercado e o que prometem os fabricantes:

- **Silver Clean** – Promete inativar o vírus da Covid-19 (<https://youtu.be/kooTvPPrVml>). Existe em duas versões: cosmético e limpeza de ambientes. “Não há contraindicações. Não tem cheiro e pode passar até em bebês. O único público que não pode usar são os alérgicos à prata, porque o produto possui um ativo à base de nanoprata” (JORNAL A TRIBUNA, 2020). A proteção duraria 12 horas. Embora aprovado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), a própria Agência pondera que “as referidas alegações de eficácia contra o coronavírus não estão comprovadas” (JORNAL A TRIBUNA, 2020).
- **Malwee Protege** – Linha de produtos com tecnologia que garante a proteção contra vírus e bactérias. O novo tecido apresenta uma ação contra a cepa do novo coronavírus. Os testes foram conduzidos pela HeiQ, empresa suíça do setor têxtil, e pelo Instituto Peter Doherty para Infecção e Imunidade, de Melbourne, na Austrália.
- **Máscaras** – Seguras e reutilizáveis usando a tecnologia de nanoprata patenteada pela Anson Nano-Biological Technology (Zhuhai) Co. Ltd. O fabricante afirma que o forro de tecido com nanoprata em máscaras pode ajudar a proteger os usuários porque as nanopartículas liberam continuamente íons, capazes de matar vírus e bactérias.
- **XTITM Active-Nano Facemask** – Máscara facial multicamada germicida (TiO_2Ag) autorregenerativa, fabricada pela X.TiO₂ Inc. (XTI). Possui mais de 1,5 bilhão de nanopartículas de dióxido de titânio e prata, projetadas para matar mais de 650 tipos diferentes de germes sob condições de pouca luz e com forte poder de invadir células bacterianas, destruindo os germes sem causar danos às células do corpo humano (STATNANO, [2020]).

- **Protec-20** – Tecnologia de nanopartícula de prata para eliminar a propagação de diferentes vírus em diversos meios. Os testes foram realizados em laboratório especializado e basearam-se na norma ISO 18184, que dispõe sobre antiviral para produtos têxteis. Em apenas quatro semanas, a empresa fez a evolução necessária do produto para conseguir escalar a produção. Em duas semanas, chegou à marca de três toneladas do produto concentrado e, hoje, a capacidade de produção é de cerca de 1,5 tonelada por dia. A grande procura pelo produto vem, principalmente, da indústria têxtil (cerca de 40% da venda). O Protec-20 pode ser usado na fiação ou no tingimento da roupa e, dependendo do processo, pode perdurar na roupa de vinte até setenta lavagens (EMPREENDEDOR, 2020).
- **Desinfetante** – Produzida pela Nanotech Surface, divisão da A. T. Marmo Service S. R. L., a substância inovadora é composta por dióxido de titânio e íons de prata, e pode deixar as superfícies autoesterilizantes por até dois anos. Está sendo usada para desinfetar os edifícios de Milão, uma medida importante para impedir a propagação do coronavírus na Itália (STATNANO, [2020]).
- **Sabões com nanop prata** – Com propriedades antivirais e antibacterianas, são produzidos por empresas como Cor Silver Skincare, Claypia Co. Ltd., Dongyang Nano Tech Co. Ltd., Nanogist Co. Ltd., Solco Nano Advance Co. Ltd., M9 Ltd. e Silver MSM (STATNANO, [2020]).
- **Detergentes para lavar louça e roupa** – À base de nanopartículas de prata, são produzidos por empresas como Lion Corporation, Gaia Infonet Co. Ltd., Flora LLC, Nanogist Co. Ltd., Nanopac (M) Sdn Bhd e Pinewood.
- **Suprimentos médicos** – Incluem aventais, luvas, toalhas, bandagens, lençóis, almofadas e papéis higiênicos produzidos com base na tecnologia de nanop prata. As propriedades antimicrobianas, antibacterianas e

antivirais das nanopartículas de prata são exploradas nesses produtos por muitas empresas, como Vileda, Dirk Rossmann GmbH, Walgreen Co., Aleva, Arco Limited, Key Surgical, Mapa Spontex UK Ltd., Alpha Consumables Ltd., Ansell, Code Happy, Heart Soul Scrubs, Cherokee Uniforms, NMI Health e Khorasan Paper Industries (STATNANO, [2020]).

Conclusões

Há uma corrida pelo mercado de produtos com nanop prata em função de suas propriedades germicidas. Entretanto, ainda faltam evidências que comprovem sua eficiente ação contra os vírus. Portanto, seu uso indiscriminado contra o novo coronavírus, além de criar uma falsa ideia de proteção, pode trazer, a longo prazo, consequências indesejadas à saúde humana e ao meio ambiente. Produtos de prata devem ser usados com critérios, quando seu uso realmente se justificar, em circunstâncias em que haja uma necessidade absoluta, como uma intervenção médica, e sua aplicação deve ser de forma imobilizada e contida. Seu uso não deve ser indiscriminado. Devem ser evitados, sobretudo, produtos que possam liberar prata no meio ambiente (SIM *et al.*, 2018). Em sua reflexão, Luoma (2008) lembra que a sociedade humana vem colocando produtos no mercado com base em seus benefícios, mas sem conhecer seus riscos, como um “grande experimento”, a exemplo do amianto e dos poluentes persistentes, como bifenilos policlorados e o pesticida DDT. A base de conhecimento é limitada, os desafios técnicos são grandes e o crescimento de aplicações comerciais é rápido (LUOMA, 2008). A ciência deveria ser norteadora na colocação de produtos no mercado e não ter que correr atrás dele.

REFERÊNCIAS

EUROPEAN UNION OBSERVATORY FOR NANOMATERIALS (EUON). Nanosilver in healthcare – does the silver bullet

- exist? **EUON**, 31 ago. 2020. Disponível em: <https://euon.echa.europa.eu/nanopinion/-/blogs/nanosilver-in-health-care-does-the-silver-bullet-exist->. Acesso em: 14 dez. 2020.
- HEALTHCARE ASSOCIATED INFECTIONS (HAI). Antimicrobials in Hospital Furnishings: Do They Help Reduce Healthcare-Associated Infections? **Antimicrobials Report**, Health Care Without Harm, mar. 2016.
- LUOMA, Samuel N. **Silver Nanotechnologies and the Environment**: Old Problems Or New Challenges. Project on Emerging Nanotechnologies of the Woodrow Wilson International Center for Scholars, **PEN 15**, Washington, DC, set. 2008.
- MAILLARD, Jean-Yves; HARTEMANN, Philippe. Silver as an antimicrobial: facts and gaps in knowledge. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 39, n. 4, p. 373-383, 2013.
- NANOTECNOLOGIA no combate à Covid-19. **Empreendedor, Negócios & Gestão**, 1º maio 2020. Disponível em: <https://empreendedor.com.br/noticia/nanotecnologia-no-combate-a-covid-19/>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- SIM, W.; BARNARD, R. T.; BLASKOVICH, M. A. T.; ZIORA, Z. M. Antimicrobial Silver in Medicinal and Consumer Applications: A Patent Review of the Past Decade (2007-2017). **Antibiotics**, v. 7, n. 4, p. 93, 2018.
- SPRAY promete proteger corpo e roupa contra o coronavírus por 12. **Jornal A Tribuna**, 31 jul. 2020. Disponível em: <https://tribunaonline.com.br/spray-promete-protoger-corpo-e-roupa-contra-o-coronavirus-por-12-horas>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- STATNANO. Tecnologia de Combate à Covid-19: Nano Ideias Inovadoras sobre Prevenção, Diagnóstico e Tratamento. **StatNano**, [2020]. Disponível em: <https://statnano.com/tecnologia-de-combate-ao-covid-19-nano-ideias>. Acesso em: 25 out. 2020.
- STATNANO. Silver Nanoparticles in 75% of Nanoproducts in Medicine Industry. **StatNano**, NBIC, 28 nov. 2017. Disponível em: <https://statnano.com/news/60821/Silver-Nanopar>

ticles-in-75-of-Nanoproducts-in-Medicine-Industry. Acesso em: 14 dez. 2020.

VARNER, K. E.; EL-BADAWY, A.; FELDHAKE, D.; VENKATAPATHY, R. **State-Of-The-Science Review**: Everything NanoSilver and More. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-10/084, 2010. Disponível em: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?Lab=NERL&dirEntryId=226785. Acesso em: 14 dez. 2020.

SÍNTESE

Eduardo Martinho Rodrigues¹

As apresentações desta mesa evidenciaram argumentos acerca das interfaces entre nanotecnologia, Covid-19 e impactos entre os trabalhadores, destacando-se a necessidade de incorporação dos conhecimentos sobre a nanotecnologia no campo produtivo, na esfera da formação sindical, e as questões do incremento da utilização da nanoprata em produtos de mercado de consumo.

Foi possível constatar complementos importantes entre os palestrantes quanto ao caráter indispensável da difusão de conhecimentos no contexto pandêmico da Covid-19, integrando nanotecnologia, convergência tecnológica, formação sindical e a necessidade da clara definição de critérios que possam distinguir, com segurança, o emprego de nanoprata no mercado consumidor.

Arline Arcuri desenvolveu sua apresentação enfatizando que processos de trabalho precários impulsionados no seio da economia, entre estes a informalidade, a terceirização, a desregulamentação, a flexibilização da legislação trabalhista, o desemprego, os acidentes de trabalho, a perda de renda salarial e a fragilidade da representação social, não foram iniciados com a pandemia da Covid-19, mas sim acelerados com a implantação das novas formas de trabalho, resultantes

1 Possui graduação em Engenharia de Operação (Mecânica de Máquinas e Ferramentas) e em Engenharia Industrial; especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho; e mestrado em Saúde Coletiva. Trabalha como perito judicial (TRT15/SP), professor do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza (SP) e professor em curso superior da Faculdade de Jaguariúna (SP) na área de Saúde e Segurança do Trabalho. E-mail: eduardo.rodrigues61@etec.sp.gov.br.

da convergência tecnológica, incrementando sobremaneira a precarização do trabalho.

Nesse sentido, discorreu sobre a aceleração do trabalho de inúmeros profissionais em *home office*, o que é decorrente e característica de várias epidemias. Assim, os resultados de vários estudos selecionados e combinados levaram o GT Nacional Covid-19 e o GT Nanotecnologia 2020 a lançarem a Nota Técnica nº11/2020 – Diretrizes a serem observadas em teletrabalho “home office” (MPT, 2020) – com a finalidade de preservar a saúde e os demais direitos fundamentais dos trabalhadores e trabalhadoras integrados ao trabalho remoto ou *home office*.

A palestrante destacou, ainda, outro fator como resultado da pandemia da Covid-19 e decorrente das novas tecnologias: o incremento da facilidade de comunicação entre a empresa e seus trabalhadores, como também entre trabalhadores e sindicatos ou associações, e, por conseguinte, o aumento da possibilidade de vigilância, em que queixas, experiências, relatos de assédio, opiniões e matérias sobre diversos motivos venham a ficar registrados, podendo, assim, ser usados para controlar, bem como monitorar de forma mais intensa os trabalhadores.

O economista Thomaz Ferreira Jensen salientou que as primeiras discussões sobre nanotecnologia ocorreram a partir do ano de 2008, no setor de alimentação, e que, na atualidade, a incorporação de novas tecnologias no sistema produtivo assume importância em outros segmentos econômicos.

Nesse sentido, enalteceu o trabalho desenvolvido pela Fundacentro, com a realização de palestras e o desenvolvimento de histórias em quadrinhos, que têm linguagem acessível ao movimento sindical. Nesse contexto, destaca-se o papel de relevância na formação sindical, com o desenvolvimento e a oferta de cursos de capacitação e formação específica para a questão das nanotecnologias empregadas nos processos produtivos.

Nessa perspectiva, comentou que seria uma oportunidade, durante a campanha salarial para a aprovação de convenção coletiva, de intensificar o esforço dos sindicatos para

incorporar o direito à informação aos trabalhadores sobre a questão da nanotecnologia em processos produtivos, como já ocorre no ramo químico e farmacêutico.

Em sua apresentação, Valéria Ramos Soares Pinto alertou que diversas publicações referentes à aplicação de nanoprata apontam os riscos do uso intensivo, como também danos ao meio ambiente, além da resistência bacteriana à prata. Também ressaltou que, de acordo com o Observatório Europeu para Nanomateriais (Euron), a prata é uma toxina e não há evidências suficientes quanto aos reais benefícios da adição da nanoprata em vários materiais.

Enfatizou que o maior crescimento da utilização da nanoprata em suas diversas formas de aplicação ocorre em produtos de consumo e não na medicina. Há uma corrida no mercado pelo desenvolvimento de produtos contendo nanoprata, o que é justificado em função das propriedades germicidas. Contudo, ainda faltam evidências que comprovem sua eficiente toxicidade aos vírus, destacou a palestrante. Nessa condição, o uso indiscriminado de produtos contendo nanoprata contra o novo coronavírus, além de criar uma falsa ideia de proteção, pode trazer, a longo prazo, consequências indesejadas à saúde humana e ao meio ambiente.

Os produtos que empregam prata devem ser usados com critérios, quando sua utilização realmente se justificar e naquelas circunstâncias em que haja uma necessidade absoluta, como em uma intervenção médica. Sua aplicação deve ser contida; a utilização não deve ser indiscriminada, evitando-se produtos que possam liberar prata no meio ambiente. Por fim, a palestrante concluiu que a ciência deveria pautar a colocação no mercado de produtos com emprego de prata, e não estar submissa e precisar correr atrás dele.

A íntegra da Mesa “Nanotecnologia, pandemia e trabalho”, realizada on-line na manhã do dia 5 de novembro de 2020, durante o XVII Semináriosoma, da qual participaram Arline Arcuri, Thomaz Jensen, Valéria Pinto e Eduardo Martinho, pode ser acessada no canal da Renanosoma (NanoWeb-TV) no YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=Uftet88mUr8>



PARTE 4:
NANOTECNOLOGIA, C&T E DEMOCRACIA

CIÊNCIA REGULATÓRIA E CIÊNCIA DA
PRECAUÇÃO: DE COMITÊS DE ESPECIALISTAS PARA
COMUNIDADES ESPECIALIZADAS NA REGULAÇÃO
DAS NANOTECNOLOGIAS NA ARGENTINA

Mauricio Berger¹

A nanociência estuda os processos fundamentais que ocorrem nas nanoestruturas ou estruturas de átomos e moléculas, com tamanho de 1 a 100 nanômetros. Quando esse estudo é aplicado ao projeto e fabricação de objetos e sistemas em escala nanoscópica, estamos nos referindo às nanotecnologias. A manipulação das propriedades físicas, químicas e biológicas dos materiais permitiu o desenvolvimento de novos materiais e dispositivos usados em diferentes indústrias, especialmente farmacológica, cosmetológica, de construção, têxtil e, mais recentemente, na chamada agricultura de precisão e remediação ambiental.

Talvez por essa razão, em relação ao aspecto disciplinar e interdisciplinar, o campo nanocientífico e nanotecnológico seja formado, principalmente, por químicos, físicos, engenheiros (de materiais, mecânicos, elétricos), tecnólogos e pesquisadores das chamadas ciências da vida (DOUBLEDAY; VISEU, 2019). Em muito menor grau, as ciências sociais estão começando a abordar a questão das tecnologias emergentes, não apenas de outras línguas disciplinares, mas também de outras estruturas de práticas científicas e tecnológicas. Mas,

1 Doutor em Ciências Sociais; pesquisador adjunto do Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); professor adjunto do Instituto de Investigación y Formación en Administración Pública, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina; diretor editorial da Revista Administración Pública y Sociedad (IIFAP FCS UNC). E-mail: mauricio.berger@gmail.com.

com a crescente diferenciação disciplinar e institucional dos próprios problemas, considerados em suas múltiplas escalas e atores, o campo se expande de modo trans e ex-disciplinar por seu objeto comum (WICKSON *et al.*, 2010).

Como assinalado em outro trabalho (BERGER, 2016), a promessa da revolução nanotecnológica é promovida pelos governos e incorporada pelas empresas no desenvolvimento de produtos e processos produtivos, desenvolvendo-se no âmbito de uma relação aparentemente neutra entre inovação, competitividade, crescimento e qualidade de vida. Na narrativa do empreendedorismo, em conjunto, os cientistas não têm mais que buscar a ligação com o setor produtivo, mas ser eles mesmos criadores de empresas de base tecnológica. Estas são criadas em ambientes de inovação e vinculação tecnológica, onde o conhecimento desenvolvido geralmente em universidades e centros públicos de pesquisa é aplicado ao sistema produtivo, através de parcerias público-privadas e do empreendedorismo tecnocientífico.

Enquanto isso, os cidadãos em geral, seja através dos direitos dos consumidores ou dos sindicatos, pelo direito à saúde e segurança nos ambientes de trabalho, juntamente com profissionais, organizações da sociedade civil e acadêmicos, formam uma rede invisível e ampliada de colaboração que adverte sobre os possíveis impactos ou consequências adversas das tecnologias emergentes em geral e da convergência tecnológica (ROCO; BAINBRIDGE, 2003). Por outro lado, há o setor público, conformado pelas agências reguladoras que emitem pareceres sobre aspectos toxicológicos, pelos próprios legisladores, que atuam na elaboração de leis para as novas tecnologias, e pela administração da justiça, que decide sobre novos casos em que a saúde da população consumidora de produtos com nanotecnologia ou de trabalhadores expostos a processos nanotecnológicos é posta em perigo.

Tendo em vista a rapidez com que o desenvolvimento nanotecnológico avança em relação à percepção de seus riscos, uma discussão sobre medidas de precaução, moratórias ou preventivas ainda está atrasada e requer não apenas estruturas para o debate público, mas também dispositivos de diá-

logo inter, trans e ex-disciplinar, capazes de abordar a complexidade da questão em suas múltiplas dimensões (VISEU; MCGUIRE, 2012). Nesse contexto, uma política de risco inspirada no Princípio da Precaução contribuiria para a atualização das atuais políticas regulatórias, que estão fechadas às evidências científicas, o que coloca (evidencia) tanto problemas epistêmicos quanto jurídicos e político-institucionais, alguns dos quais apresentados a seguir.

Nanopúblico e seus problemas

Como já expresseo por Beck (1998), os processos de definição de risco são sociais. Portanto, a análise de situações sociais de perigo resultantes de novas tecnologias requer projetos e desenvolvimentos institucionais apropriados. Entretanto, a predominância do conhecimento especializado e da comitologia (referente à ação de comitês) tem o efeito de sequestrar o debate público e, com isso, as possibilidades de uma alfabetização científico-tecnológica da cidadania, e de uma alfabetização cidadã da ciência e da tecnologia.

Nos últimos anos, a política científica em nível global deu maior impulso à comunicação pública da ciência e a uma diversidade de meios e recursos (renovados) da anteriormente chamada divulgação científica. Nesta linha, a 'ciência' procura traduzir seus conhecimentos em uma linguagem acessível a um público não especialista, mas mantém a divisão do trabalho intelectual entre aqueles que detêm o título de cientistas e aqueles que são cidadãos 'leigos'. Da mesma forma, no campo regulatório, há predominância de especialistas, que, na maioria dos casos, são os mesmos cientistas e nanotecnólogos que impulsionam os desenvolvimentos.

Como aponta Bensaude Vincent (2012), os impactos sociais, éticos e ambientais devem ser levados em conta nas fases iniciais, no nível da pesquisa básica, muito antes da entrada das aplicações no mercado, mas, para isso, segundo a autora, não se pode ser ingênuo: nem as práticas científicas estão abertas a processos democráticos, nem os cidadãos têm

acesso a uma discussão informada sobre ciência e tecnologia, com preocupações sociais e políticas.

Gehrke (2019) usou a noção de ‘nanopúblico’ para se referir principalmente a um grupo de beneficiários das nanotecnologias. Sob a capa das políticas públicas de comunicação da ciência, esse conceito visaria à conformação de uma base para a aceitação social das nanotecnologias, não de participantes individuais, mas de associações ou ecologias para um envolvimento público orgânico. A validade ecológica, na proposta da Gehrke, seria dada na observação do público em sua ecologia, o que inclui aspectos como população, relações, modelos de comunicação, qualidade da deliberação e as formas em que o público entende e assume os riscos, pois eles ocorrem em seus contextos particulares e não de uma forma ideal.

Na Argentina, o programa de divulgação mais importante, realizado pela Fundação Argentina de Nanotecnologia (FAN), inclui diversas iniciativas como o Programa de um Dia para Nanotecnólogos, na linha da comunicação pública, bem como cursos de treinamento mais específicos, orientados a especialistas. Embora esses cursos ampliem o treinamento disciplinar, eles estão longe de treinar um público não especialista, não só os consumidores ‘leigos’, mas também os membros do setor regulador, legisladores e juízes, entre outros.

Outro problema enfrentado é a fraca participação pública: diferentemente de outros problemas que já foram tematizados por 20 anos (como o uso massivo de agroquímicos, por exemplo), a questão da nanotecnologia não gera um debate público, além do antagonismo entre a elite tecnofílica e seus adversários tecnofóbicos (BENSAUDE VINCENT, 2012), uma situação que não permite avançar em um processo de discussão e justificação, no qual o tratamento da incerteza na abordagem do risco e a responsabilidade de assumir certos riscos também ocorreriam.

Com relação a essas posições, Bensaude Vincent (2012) caracteriza, por um lado, aquelas que defendem a nanotecnologia, e seu objetivo é a aceitação social da mesma, com as promessas de energia limpa, medicina de precisão etc., onde a participação de cientistas sociais visaria a pavimentar o cami-

nho e eliminar os obstáculos para que as inovações tecnológicas se espalhassem na sociedade em geral. Uma atitude tecnocrática e tecnocientífica acompanha essas iniciativas, baseada no credo do determinismo tecnológico (FEENBERG, 2012): a sociedade é moldada pelo impulso tecnológico, e o papel do governo é estabelecer as condições para que as mudanças tecnológicas ocorram, promovendo e financiando a pesquisa em nanotecnologia, o que não é considerado uma questão de escolha, mas o trem da competitividade global e, portanto, não seria necessário nenhum debate sobre ele.

Na Argentina, os projetos de lei (BAILO, 2018) não só são desconhecidos da maioria da população e até mesmo de cientistas, empresários e outros agentes envolvidos no desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia, como também estão polarizados em uma política de incentivos e promoção do desenvolvimento tecnológico que não considera impactos, externalidades ou consequências adversas. No nível das iniciativas legislativas, em vez de estabelecer um marco legal que considere a proteção da saúde e do meio ambiente, a maioria dos projetos são para a promoção e os incentivos no setor.

O Projeto de Lei Quadro do Plano Estratégico Nacional para o Desenvolvimento das Micro e Nanotecnologias nem sequer teve uma audiência pública. O Projeto de Lei estabelece requisitos mínimos que orientam a definição da política na área: identificar os tipos de micro e nanotecnologias que, do ponto de vista estratégico, serão mais convenientes para introduzir e desenvolver no mercado, de acordo com as vantagens competitivas, tendo, para este fim, financiamento público. Esta e outras iniciativas legislativas não prosperaram, conforme análise de Bailo (2018) sobre outros projetos na linha de promover o financiamento para desenvolver vantagens competitivas de empresas locais.

Atualmente, a chamada Lei da Economia do Conhecimento cria o “Regime de Promoção da Economia do Conhecimento” com o objetivo de promover atividades econômicas que aplicam o conhecimento apoiado pelos avanços da ciência e das tecnologias, entre elas a nanociência e a nanotecnologia, porém sem sequer ter uma definição conceitual; muito menos

inclui referências à avaliação de risco, ou considerações de impactos ambientais, sanitários e sociais em geral.

Uma economia do conhecimento sem uma sociedade do conhecimento: nenhuma dessas iniciativas inclui a criação de uma política nacional de nanosseguurança, nem questões como rotulagem ou princípios de precaução e responsabilidade civil. No caso da atual Lei de Economia do Conhecimento, foi observado que há deficiências de natureza indefinida nas nanotecnologias e de uma política de avaliação de risco. Destaca-se a ausência da promoção do acesso à informação sobre nanotecnologia e da participação democrática na tomada de decisões na implementação de políticas públicas relevantes.

Longe de serem supostamente livres de valores, a ciência e a tecnologia estão carregadas de valores não epistêmicos. Bensaude Vincent (2012) aponta para a formação de estruturas democráticas de justificação de decisões sobre o desenvolvimento nanotecnológico, com o entendimento de que os cidadãos têm o direito de assegurar escolhas tecnocientíficas que respeitem seus valores sociais e morais, bem como uma avaliação pública – não apenas especializada – dos impactos sociais, ambientais e éticos, inclusive desde os estágios iniciais, no nível da pesquisa básica e muito antes de as aplicações entrarem no mercado. Entendendo que a ciência também tem uma estrutura de justificação epistêmica e de política pública, a seção seguinte aborda o contraste entre a política de regulação baseada na ciência – “ciência regulatória” – e uma política consistente com o princípio da precaução.

Ciência regulatória e a ciência da precaução

A regulação baseada em evidências científicas é uma política para avaliação e gestão do risco das novas tecnologias, e tem como objetivo central informar o processo de definição de políticas, para dar-lhe seu apoio ou justificativa. Apresenta-se como um processo racional, com rigor científico e sistematização, sob a premissa (ou promessa) de que uma decisão racional deve ser informada pelas melhores evidências disponí-

veis, de forma objetiva, com independência de opiniões e julgamentos (ZWART, 2012; DEMORTAIN, 2017; 2019).

Dentro dessa estrutura política, a regulação para o desenvolvimento das nanotecnologias na Argentina está incluída, não apenas na incipiente indústria local: diante da importação de produtos e da incorporação de processos produtivos com nanotecnologia no país, diferentes áreas da administração pública começaram a formular algumas iniciativas de regulamentação e vigilância (BAILLO, 2018). A Superintendência de Riscos no Trabalho (SRT) criou o Programa Nacional de Prevenção por Ramos de Atividade (Resolução 770/2013) com o objetivo de desenvolver e programar políticas ativas de prevenção primária, secundária e terciária, independentemente ou em conjunto com as Organizações Empresariais, os Sindicatos, os Administradores Locais de Trabalho e as Seguradoras de Riscos Trabalhistas, incluindo uma referência explícita à nanotecnologia.

Uma iniciativa que acompanhou essa medida foi a criação do Observatório de Nanotecnologia e Saúde dos Trabalhadores no Âmbito da SRT, com o objetivo de articular os diferentes atores que participam do desenvolvimento da nanociência e nanotecnologia. O Observatório será responsável pela divulgação de informações sobre pesquisas ligadas ao desenvolvimento de novos nanomateriais, processos nanotecnológicos e eventos sobre nanosseguurança e nanotoxicidade. Conforme anunciado no site oficial, o Observatório programará reuniões para promover a incorporação do conceito de nanosseguurança nos laboratórios de nanociência e em processos de produção, como no armazenamento e transporte de nanomateriais, e disseminará conhecimentos sobre métodos de avaliação de risco químico para nanomateriais.

Na área do Ministério da Saúde, desde 2007, existem algumas iniciativas na forma de boas práticas, como a Resolução 1490/2007 sobre Pesquisa Clínica em Seres Humanos, que menciona as nanotecnologias aplicadas à medicina genômico-proteômica e à medicina regenerativa. Por volta de 2012, a Administração Nacional de Medicamentos, Alimentos e Tecnologia Médica (ANMAT) criou um grupo de trabalho multidis-

ciplinar para tratar e analisar aspectos relacionados à aplicação da nanotecnologia em produtos de saúde aprovados pela agência. Atualmente, uma disposição da agência introduziu definições sobre nano-objetos em medicamentos.

Também vale mencionar uma instituição de referência público-privada, o Instituto Argentino de Normalização e Certificação (IRAM), a filial argentina da ISO. Em funcionamento desde 2008, o IRAM criou um comitê de nanotecnologias formado por especialistas dos setores acadêmico (universidades, centros de pesquisa), empresarial e público (SRT, ANMAT, Ministério da Saúde). A principal função do comitê é estabelecer políticas e linhas de ação para o desenvolvimento da padronização na área de nanotecnologias, e tem se concentrado principalmente na tradução e discussão das normas ISO em normas IRAM para circulação local. As normas já traduzidas e aprovadas são: Vocabulário (39501); Ficha de Segurança (39502); Metodologia para Avaliação de Risco de Nanomateriais (39503); e Gerenciamento de Risco Ocupacional Aplicado à Engenharia de Nanomateriais e Princípios de Controle de Faixas (39504).

Nos três órgãos mencionados, como em outros comitês de especialistas, a objetividade é creditada principalmente à coleta de provas baseada na revisão por pares, na literatura científica disponível à época. Destacam-se a falta de laboratórios próprios no sistema regulatório e a ausência de políticas para que laboratórios universitários e de centros de pesquisa formem uma rede nacional e autônoma ou um sistema de partes interessadas.

Além disso, a limitação epistêmica predominante exige, segundo Osimani (2013), fazer uma distinção entre a tarefa de testar os efeitos pretendidos e não pretendidos, que tem sido especialmente enfatizada pelo conhecimento epidemiológico e relatórios de casos, além da literatura disponível. Esses documentos sustentam a opinião de que as provas de benefícios e danos farmacêuticos devem ser avaliadas de acordo com diferentes critérios. Osimani recupera o trabalho de Vandembroucke, que propõe a inversão da hierarquia para a detecção de riscos com respeito à avaliação de benefícios. Em outras

palavras: o problema não é provar um benefício, mas sim descobrir um efeito indesejável de alguma tecnologia de saúde. Entretanto, isso implica um período de geração de provas, que não corresponde à demanda do mercado e dos Estados em seu plano de competitividade.

Após Osimani (2013), as acusações contra o princípio da precaução têm sua origem na tensão entre um instrumento legal que reconhece a incerteza e um sistema de avaliação de provas que continua baseado em uma epistemologia dedutiva, cujo escopo – rejeição de hipóteses – é muito limitado em efeitos da gestão e prevenção de riscos.

Como destacam Millstone *et al.* (2015), os julgamentos políticos – que vão além das questões puramente científicas e são de natureza eminentemente prático-política – emergem durante a avaliação de risco. Jasanoff (2011) critica o pacto de regulamentação científica que se esconde por trás de reivindicações de objetividade, já que em certos aspectos não há nem mesmo uma base confiável para estimar as probabilidades (neutralidade focada no fato). Considerações políticas e normativas não são suplementos de segunda categoria à ciência; valores estão inseparavelmente ligados aos julgamentos que enquadram as opções (BONNEUIL; LEVIDOW, 2019).

Uma possível reformulação da política de avaliação de risco implicaria, então, na desestruturação da política de avaliação de risco, em termos procedimentais, substantivos e interpretativos. Algumas questões: Que tipos de efeitos são considerados no âmbito da avaliação de risco e quais não são? Que tipo de evidência é validada e qual não é? Como é interpretada a evidência selecionada? Quantas provas seriam necessárias ou suficientes para apoiar diferentes tipos de julgamento? (MILLSTONE *et al.*, 2015).

A evidência empírica do público e das ciências em contextos específicos, como a ciência da precaução, é fundamental para contribuir para a identificação da incerteza científica diante de problemas de grande complexidade química, como os coquetéis de poluentes, a gama de efeitos, a escala temporal, a difusão espacial da poluição e a variabilidade da resposta causa-efeito, entre outros. Diante disso, a ciência da precau-

ção é uma ciência que se aprofunda na complexidade, de modo inter e ex-disciplinar, promovendo o raciocínio público sobre problemas ambientais ou outros com impactos coletivos.

Considerações finais

Diante da incerteza dos efeitos dos desenvolvimentos nanotecnológicos, e da predominância de especialistas em deliberação e tomada de decisões, uma ciência da precaução contribui não apenas em aspectos epistêmicos para uma ciência de complexidade, mas também em aspectos prático-políticos, que fazem a democratização dos cenários regulatórios aqui estudados.

A metodologia de uma ciência da precaução também ampliaria a visibilidade e a inclusão de atores atualmente não incorporados no tratamento dessas questões, em um quadro de raciocínio público (JASANOFF, 2011), como uma plataforma de epistemologias cívicas em que argumentos e justificativas são debatidos de forma democrática em relação às questões nanocientíficas e nanotecnológicas (e, por extensão, a todas as tecnologias emergentes e convergentes).

REFERÊNCIAS

- BAILO, G. L. La regulación de las nanotecnologías en Argentina. **Revista de la Facultad de Derecho**, n. 45, 2018.
- BECK, U. **La sociedad del riesgo**. Hacia una nueva modernidad. Barcelona: Paidós, 1998.
- BENSAUDE VINCENT, B. Nanotechnology: a new regime for the public in science? **Scientiæ zudia**, v. 10, special issue, p. 85-94, 2012.
- BERGER, M. Nanotecnologías y Ciencias Sociales. Una aproximación a redes de prácticas y conceptos en Brasil y Argentina. **Revista Tomo**, n. 29, jul./dez. 2016.
- DEMORTAIN, D. Expertise, Regulatory Science and the Evaluation of Technology and Risk: Introduction to the Special Is-

- sue. **Minerva**, n. 55, p. 139-159, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11024-017-9325-1>.
- DEMORTAIN, D. Modèles d'effets, effets des modèles. **Revue d'anthropologie des connaissances**, v. 13, n. 4, 2019. Disponível em: <http://journals.openedition.org/rac/2572>.
- DOUBLEDAY, R.; VISEU, A. Questioning interdisciplinarity: What roles for laboratory based social science. In: KJØLBERG, K.; WICKSON, F. **Nano Meets Macro – Social perspectives on nanoscale sciences and technologies**. Berger: Pan Stanford, 2019.
- FEENBERG, A. **Transformar la tecnología**. Buenos Aires: UNQ, 2012.
- GEHRKE, P. **Nano-Publics Communicating Nanotechnology Applications, Risks, and Regulations**. California: Palgrave Macmillan, 2019.
- JASANOFF, S. **The Politics of Public Reason**. In: BAERT, P.; RUBIO, F. D. (eds.). **The Politics of Knowledge**. Abingdon: Routledge, 2011.
- LEVIDOW, L.; BONNEUIL, C. Movilizando pericia científica contra restricciones comerciales. Un caso de disputa por la regulación de los OGM en la Organización Mundial del Comercio. **Administración Pública Y Sociedad (APyS)**, n. 7, p. 119-129, 2019.
- OSIMANI, B. **An Epistemic Analysis of the Precautionary Principle**. **Dilemata**, n. 11, p. 149-167, 2013.
- MILLSTONE, E. *et al.* Regulating genetic engineering: the limits and politics of knowledge. **Issues in Science and Technology**, v. 31, n. 4, p. 23-26, 2015.
- ROCO, M. C.; BAINBRIDGE, W. S. **Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science**. Dordrecht, Holanda: Springer Netherlands, 2003.
- VISEU, A.; MCGUIRE, H. Integrating and Enacting 'Social and Ethical Issues' in Nanotechnology Practices. **NanoEthics**, v. 6, n. 3, p. 195-209, 2012.

WICKSON, F. *et al.* Who or what is 'the public'? **Nature Nanotech**, n. 5, p. 757-758, 2010.

ZWART, H. Ethical expertise in policy. *In*: CHADWICK, R. (ed.). **Encyclopedia of applied ethics**, 2. ed. Oxford: Elsevier, 2012.

EL DESAHUCIO DEL VÍNCULO SOCIAL EN EL NEOLIBERALISMO Y SU EXPRESIÓN ACTUAL EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA SOBRE EL COVID-19

*José Manuel Rodríguez Victoriano*¹

La socióloga argentina Saskia Sassen se preguntaba en la introducción a su libro “Expulsiones: brutalidad y complejidad en la economía global” (2015) cómo es posible que la compleja sociedad contemporánea del capitalismo neoliberal esté tendiendo a la condición de simplicidad brutal. Su hipótesis, que desarrolla a lo largo de libro, apunta hacia unas tendencias sistémicas emergentes conformadas por unas pocas dinámicas básicas. Dichas dinámicas serían transversales no sólo a las crisis que recorren la globalización neoliberal sino también y a las diversas especificidades nacionales. De este modo, junto con la explotación económica de los seres humanos y sus correlativas dinámicas de exclusión social y la extracción y destrucción de la naturaleza que caracterizan la actual fase del capitalismo, emergen otros procesos. Los procesos de explotación económica y exclusión social dejan paso a nuevos procesos de expulsión social de todas aquellas personas y sectores sociales que han dejado de tener valor como productores y consumidores.

Entre ellos sectores sociales, en otro momento muy relevantes para el desarrollo del capitalismo, como las pequeñas burguesías y las burguesías nacionales. “Hoy los oprimidos” – escribe Sassen – “en su mayoría han sido expulsados y sobreviven a gran distancia de sus opresores. Además, el ‘opresor’ es cada vez más un sistema complejo que combina personas,

1 Estructura de Investigación Interdisciplinar en Sostenibilidad del Instituto López Piñero de la Universidad de Valencia. E-mail: jose.m.rodriguez@uv.es.

redes y máquinas sin tener ningún centro visible. Y, sin embargo” – concluye Sassen – “hay sitios donde todo se reúne, donde el poder se hace concreto y puede ser desafiado y donde los oprimidos son parte de la infraestructura social para el poder. Las ciudades globales son uno de estos sitios”.

La expulsión de lo distinto es también el rasgo que caracteriza, según el filósofo surcoreano Byung-Chul Han al neoliberalismo contemporáneo. Junto a la destructividad de la violencia del ‘otro’, la ‘expulsión de lo distinto’, añade un elemento diferencial, pone en marcha un proceso destructivo totalmente diferente, a saber, la autodestrucción. La articulación de ambas dimensiones lleva al neoliberalismo a engendrar una injusticia masiva de orden global. La explotación del otro, ser humano, naturaleza, la auto-explotación y la exclusión son constitutivas de él: “Construye un ‘apóptico’” – escribe Han –, “una construcción basada en una ‘óptica excluyente’ que identifica como indeseadas y excluye por tales a las personas enemigas del sistema o no aptas para él. El panóptico sirve para el disciplinamiento mientras que el apóptico se encarga de la seguridad. Incluso dentro de la zona de bienestar occidental el neoliberalismo recrudescer la desigualdad social. En el último término, elimina la economía del mercado social” (HAN, 2017, p. 25-26).

Pandemia

Desde el contexto anterior, la actual pandemia ha emergido como un analizador que, a pesar de su novedad extraordinaria, de su irrealidad cotidiana y de la inmensa velocidad con la que se mueve, nos están permitiendo observar detenidamente, como a cámara lenta, nuestra propia realidad local y global. Nos enseña y nos recuerda como dice Slavoj Žižek (2020) que todos estamos en el mismo barco, aunque viajando en camarotes muy diferentes. La cruel pedagogía del Covid-19, su trágica transparencia ha sacado una realidad que llevaba gestándose varias décadas y que la que la llamada crisis financiera de 2008 y sus políticas de ajustes ya nos había anticipado alguno de sus rostros más crueles. Nos interpela, al mostrarnos sin reparos nuestra transición civilizatoria aque-

lla que va de la exclusión a la expulsión social y que en su confluencia, consume el desahucio de nuestros vínculos sociales y pone en peligro nuestra supervivencia colectiva.

A partir del análisis anterior, estas últimas líneas inciden en algunas cuestiones complementarias. En primer lugar, destacan la importancia, en términos individuales y colectivos, del paso de la violencia biopolítica² del liberalismo a la crueldad necropolítica³ del neoliberalismo contemporáneo cuya ignorancia de los límites y su barbarie contra la naturaleza, nos aboca hacia un futuro sin futuro. Siguen con una breve caracterización del totalitarismo de dicho sistema, su “fascismo societal”, tal y como lo definió hace ya dos décadas el sociólogo portugués Boaventura de Sousa Santos (2004; 2006). Concluyen, por último, con unas breves notas sobre el papel que el conocimiento y la investigación en las universidades públicas está jugando en la pandemia actual. Notas que asumen que las universidades y los centros de investigación públicos, a pesar de su creciente desmantelamiento neoliberal que los ha dejado medio vacíos, siguen siendo lugares de resistencia, lugares medio llenos, donde todavía se puede seguir trabajando por una sociedad del conocimiento de todos, por todos y para todos. La investigación pública sobre la pandemia es también un analizador que nos muestra los límites de los usos sociales del conocimiento y las posibilidades de su democratización (RODRÍGUEZ VICTORIANO, 2005).

2 El concepto de biopolítica procede de Rudolf Kjellén que lo introdujo en sus reflexiones sobre el Estado, posteriormente Foucault lo utilizará para definir las líneas fundamentales de la política moderna, a saber, como el soberano gestiona, administra y gobierna la vida biológica de la población (BAZZICALUPO, 2016). Como observa Fernando Colina (2019, p. 21) cuando el derecho de hacer morir fue reemplazado por el poder de hacer vivir: “El derecho a elegir entre matar o dejar vivir se convirtió en la obligación de hacer vivir, en el poder de no dejar morir. Y lo hizo así, aunque a la hora de imponer ese derecho cayera en una profunda contradicción y acabará movilizando la eugenesia y el racismo para activar grandes matanzas en nombre de la vida”.

3 Como ha resumido recientemente Segura del Pozo (2020), el concepto de necropolítica acuñado por el filósofo camerunés Achille Mbembe se refiere al uso del poder social y político para determinar cómo algunas personas pueden vivir y cómo algunas deben morir. Va más allá del ‘derecho a matar’ (el ‘hacer morir y dejar vivir’) del soberano, pero también del ‘hacer vivir y dejar morir’, de la biopolítica de Foucault. Incluye el derecho a exponer a otras personas (incluidos los propios ciudadanos de un país) a la muerte.

El auge de la brutalidad organizada en el totalitarismo neoliberal

En su sociología histórica de la violencia, Siniša Malešević (2020) la caracteriza como una forma de acción social que puede cambiar su carácter, dirección e intensidad pero que no puede eliminarse de la vida social. La violencia como señala este sociólogo del University College de Dublin es inherente a las sociedades humanas pero su rasgo más destacable ha sido su constante aumento a lo largo de la historia, su paso, a lo que estamos definiendo como crueldad. En la consumación o no de ese paso está en juego no sólo el destino moral de los sujetos sino también la posibilidad de una civilización humana que no quede sostenida sobre la expulsión, la exclusión o directamente el exterminio del 'otro', del diferente.

En palabras del filósofo y psicoanalista español, Francisco Pereña (2004, p. 31), los sujetos realizan este paso cuando expulsan y proyectan en el interior su violencia traumática original y las sociedades cuando consagran como objeto de exterminio todo aquello que ofrezca el rostro de la alteridad. Por el contrario, los sujetos renuncian a consumir ese trecho cuando asumen en sus vidas la tarea ética de resistir con la fuerza de sus acciones a la crueldad. Y las sociedades cuando se orientan a la reconstrucción política de sus vínculos sociales desde la antigua ley griega de la hospitalidad.

El capitalismo financiero de la globalización neoliberal ha forjado un territorio a escala planetaria de desregularización y privatización, de precarización de la condición laboral, pero también de precarización y malestar de otras dimensiones de la condición de ciudadanía; desde el acceso al conocimiento hasta la reducción de los mecanismos de la participación política a su simple simulacro formal. La simplificación de los procesos de participación democrática viene acompañada del ascenso de las incertidumbres: inseguridad laboral, inseguridad alimentaria, inseguridad ecológica, inseguridad ciudadana, inseguridad afectiva, inseguridad sanitaria... La confluencia de las dimensiones anteriores ha impuesto un nuevo totalitarismo social, laboral, cultural, educativo y polí-

tico; una deriva hacia ese nuevo “fascismo societal” caracterizado por Sousa Santos.

En suma, la globalización neoliberal propicia una democracia de baja intensidad y, en algunas ocasiones, como nos está mostrando la actual pandemia, promociona su desmantelamiento real manteniendo, eso sí, su simulacro formal. Su régimen de “fascismo societal” permite explotar, expropiar y desvanecer en el aire de la mercantilización todo lo público, cualquier bien común. Como modelo social deja de lado cualquier lógica de servicio público e ignora los principios de ciudadanía y derechos humanos. La pandemia como un analista privilegiado lo ha puesto de relieve. Su trágica realidad ha mostrado a la ciudadanía lo que está en juego. Habrá más pandemias, la catástrofe ecológica es ineludible, pero desde el modelo neoliberal es inútil pensar en su superación. Como ha apuntado recientemente Sousa Santos (2020, p. 68) las políticas neoliberales continuarán socavando la capacidad de respuesta del Estado y las poblaciones estarán cada vez más indefensas. Semejante ciclo infernal solo podrá interrumpirse si se interrumpe el capitalismo.

La investigación pública no es un negocio privado hacia la recuperación del conocimiento científico como un bien común

En noviembre de 2019 se celebró en Marsella el congreso internacional “Hacia una sociedad del conocimiento de todos, por todos y para todos”. El congreso organizado por la Internacional del Daber para Todos (IDST) apostó por la descolonización neoliberal del saber. Concluyó que frente a las tres dominaciones que sostienen la hegemonía neoliberal, a saber, el capitalismo, el colonialismo y el patriarcado, las universidades y los centros de investigación públicos deben escapar del ‘síndrome de Estocolmo’ en el que la mercantilización neoliberal les ha encerrado, deben repensar y restablecer sus vínculos con la sociedad, con sus movimientos sociales y con sus medios de comunicación alternativos, deben movilizarse para hacer frente a dichas realidades y dar esperanza a los secto-

res sociales oprimidos. Unos meses después la pandemia del Covid-19 volvía todavía más urgente si cabe este diagnóstico.

Es necesario recuperar la ‘hospitalidad’ que la mercantilización del conocimiento y la investigación ha expulsado de las instituciones de enseñanza e investigación pública. Es necesario que las necesidades sociales vuelvan a las universidades públicas y que la investigación vaya a la sociedad. En suma, como señalaba el manifiesto titulado “La universidad pública al servicio de las necesidades sociales: ciencia y docencia con conciencia ciudadana” promovido en abril de 2020 por la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad de Valencia y firmado por más de trecientos trabajadores de las universidades españolas, es necesario recuperar la ciencia con conciencia ciudadana. Desde esta perspectiva ciudadana comprometida con la producción de saberes emancipatorios la excelencia de la investigación científica en las universidades públicas es inseparable de su capacidad de promover la participación ciudadana en la decisión sobre los fines y los usos sociales de la ciencia.

En este sentido, y a modo de recapitulación final, es necesario recordar que en los últimos años, importantes investigaciones en el ámbito de la salud pública y la epidemiología advirtieron reiteradamente del riesgo de una pandemia como la actual; constataron que nuestras sociedades no estaban preparadas para afrontar dicho riesgo y, en consecuencia, instaron a los gobiernos a tomar medidas urgentes para paliar sus futuras consecuencias. Sin embargo, tal y como está ocurriendo desde hace décadas con las recomendaciones de las investigaciones sobre la crisis ecológica y el cambio climático, tales advertencias no sólo se ignoraron sino que incluso en determinados países dieron lugar a políticas sociales que, mediante los recortes del gasto público y las privatizaciones, deterioraron todavía más los servicios y las infraestructuras públicas.

La realidad de pandemia como analizador interpela a nuestro sistema de conocimiento actual, muestra sus límites, visibiliza las trágicas consecuencias del negacionismo de la crisis ecosocial en la que vivimos. Nos exige una modestia

epistémica que deje a las puertas de las universidades el narcisismo académico y que rompa con la visión fragmentada y parcial de los distintos ámbitos del conocimiento. Ya sabíamos que la ciencia sin conciencia ciudadana es sólo otro tipo de negocio mercantil pero hoy la pandemia nos ha vuelto a señalar (PADILLA; GULLÓN, 2020) que nadie está a salvo si no estamos todos a salvo.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- BAZZICALUPO, L. **Biopolítica**. Un mapa conceptual. Santa Cruz de Tenerife, España: Melusina, 2016.
- COLINA, F. **Foucaultiana**. Madrid, España: La Revolución delirante, 2019.
- HAN, B. **La expulsión de lo distinto**. Barcelona, España: Herder, 2017.
- MALEŠEVIC, S. **El auge de la brutalidad organizada**. Una sociología de la violencia. Valencia, España: PUV Universitat de València, 2020.
- PADILLA, J. Y.; GULLÓN, P. **Epidemiocracia**. Nadie está a salvo si no estamos todos a salvo. Madrid, España: Capitán Swing, 2020.
- PEREÑA, F. **De la violencia a la crueldad**. Ensayo sobre la interpretación, el padre y la mujer. Madrid, España: Editorial Síntesis, 2004.
- PEREÑA, F. Por sus obras los conoceréis. Solidaridad, vergüenza y miedo. **Viento Sur**, 15 abr. 2020. Disponible en: <https://vientosur.info/spip.php?article15864>.
- RODRÍGUEZ VICTORIANO, J. M. El conflicto entre la democratización de conocimiento y la globalización de la ignorancia en el capitalismo informacional: informar, comunicar, conocer. **Témpora – Revista de historia y sociología de la educación**, n. 8, p. 79-96, 2005.
- SANTOS, B. S. **La cruel pedagogía del virus**. Buenos Aires, Argentina: CLACSO, 2020.

- SANTOS, B. S. **Democratizar la democracia**. Los caminos de la democracia participativa. México: Fondo de Cultura Económica, 2004.
- SANTOS, B. S. **Conocer desde el Sur**. Para una cultura política emancipatoria. Lima, Perú: Fondo Editorial de la Facultad de Ciencias Sociales, UNMSM, 2006.
- SASSEN, S. **Expulsiones**: brutalidad y complejidad en la economía global. Madrid, España: Katz, 2015.
- SEGURA DEL POZO, J. Necropolítica. **Cuarto poder**, 2 out. 2020. Disponible en: <https://www.cuartopoder.es/ideas/2020/10/02/necropolitica-javier-segura/>.
- ŽIŽEK, S. **Pandemia**. La Covid-19 estremece al mundo. Barcelona, España: Anagrama, 2020.

USO DOS RECURSOS PÚBLICOS DE FORMA DEMOCRÁTICA NA PRODUÇÃO DE CONHECIMENTOS SOBRE NANOTECNOLOGIA: O QUE SERIA ISSO?

Paulo Roberto Martins¹

As nanotecnologias foram colocadas pelo governo federal, desde 2001, como uma área estratégica para o desenvolvimento nacional. Neste artigo, as nanopartículas e as macropolíticas são investigadas visando à apresentação do desenvolvimento recente e das perspectivas da nanotecnologia no Brasil em termos de “ciência da produção” e “ciência dos impactos”, em que materializou uma forma de apropriação dos recursos públicos aplicados à produção de novos conhecimentos no campo das nanotecnologias. Trata-se de uma reflexão sobre o uso de recursos públicos federais na produção de conhecimentos sobre as nanotecnologias no Brasil. Isso foi feito de forma democrática? Esta é a pergunta que o artigo pretende responder.

Em 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. A ciência e a tecnologia não são neutras, e 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 brasileiros sobre seu trabalho diferencia a ciência básica da ciência aplicada, ressaltando o caráter neutro da produção do conhecimento científico (ciência básica). Contudo, existe o conceito de tecnociência, que atrela todo o conhecimento cientí-

¹ Sociólogo, doutor em Ciências Sociais, pesquisador, fundador e coordenador da Rede Brasileira de Pesquisas em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma). E-mail: marpaulo@uol.com.br.

fico à produção de mercadorias. Se, por um lado, essa visão responsabiliza os cientistas por suas descobertas, por outro, os aproxima intensamente dos interesses de grandes grupos econômicos. Esse conceito, portanto, vincula à pesquisa uma finalidade exclusiva, que é a produção de mercadorias mais atrativas a serem comercializadas, e não o aumento do conhecimento (MARTINS; BRAGA, 2007).

Nesse sentido, Edgard Morin afirma:

A ciência produziu uma extraordinária potência associando-se cada vez mais estreitamente com a técnica, cujos desenvolvimentos ininterruptos pressionam 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. (2005, p. 71)

O mesmo Edgar Morin já indicava que essa forma de produzir novos conhecimentos científicos e tecnológicos na era da globalização tem implicações.

A nave espacial Terra é movida por quatro motores associados e, ao mesmo tempo, descontrolados: ciência, técnica, indústria e capitalismo (lucro). O problema está em estabelecer um controle sobre estes motores. Os poderes da ciência, da técnica e da indústria devem ser controlados pela ética, que só pode impor seu controle por meio da política. (2002)

Trabalho elaborado por membros da Rede Brasileira de Pesquisas em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma) aponta na mesma direção:

O desenvolvimento da nanotecnologia prende-se a essa lógica conceitual, pois não se restringe somente a cientistas e tecnólogos; é um processo negociado, ou melhor, pactuado com outros atores, como empresários, consumidores, sindicalistas, trabalhadores, gestores públicos e ambientalistas, em uma longa série de sucessivas aproximações dos interesses envolvidos. Se a adoção de uma tecnologia impacta a malha social e as interações entre os membros, ela constitui uma questão política e deve estar aberta ao exame das ciências sociais, e este é o caso das nanotecnologias (SILVA *et al.*, 2014, p. 15).

Não se deve esquecer que os processos de pesquisa científica e inovação tecnológica sempre foram alvo de um conflito de interesses políticos, pois a ciência como produto humano não é neutra; ela está dirigida aos interesses dos que investem em sua produção e desenvolvimento. Os engenheiros e tecnólogos envolvidos na inovação têm visões específicas de uma sociedade futura com grandes implicações políticas.

Como bem observou Ivan da Costa Marques:

Dizer simplesmente que ‘a ciência busca a verdade’ dá continuidade à alegoria moderna da ciência como universal, neutra e objetiva, e à crença de que a ciência é apolítica. Desde meados do século XX, no entanto, os estudos históricos, sociais e etnográficos sobre ciência acumularam evidências e mostraram convincentemente que os conhecimentos científicos e tecnológicos têm valor de verdade em culturas, lugares e tempos específicos (não são universais); atuam a favor ou contra pessoas e coisas (não são neutros); e não captam uma realidade objetiva independente de uma concepção prévia da realidade (não são objetivos). (2020)

Toda periodização utilizada para determinar quando algo surge na ciência e 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 ao mais comumente admitido. Duas ações marcaram o início do desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil. Em 2001, temos o Edital CNPq nº 1/2001, no valor de R\$ 9.800.000,00, para o período de 2001 a 2005. Livro publicado em 2007, intitulado “Revolução Invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil”, já indicava que “é preciso explicitar que o caráter multidisciplinar atribuído à nanociência e à nanotecnologia nunca incorporou as ciências humanas, e que aquelas sempre foram entendidas e praticadas com a exclusão da área de humanidades” (MARTINS, 2007a, p. 12-13). Esta é a primeira exclusão aqui relatada e que permanece vigente até os dias atuais.

O Edital, primeira ação do Estado brasileiro centrada na organização das atividades de nanotecnologia, tinha como objetivo “fomentar a constituição e consolidação de Redes Cooperativas Integradas de Pesquisas Básica e Aplicada em Nano-

ciência e Nanotecnologias, organizadas como centro virtuais de caráter multidisciplinar e abrangência nacional, doravante denominadas Redes, através de apoio a projetos de pesquisa científica e/ou de desenvolvimento tecnológico em temas selecionados nas linhas de pesquisas em nanociências e nanotecnologias para 2001-2002”.

Outro fato importante, no ano de 2003, foi a inclusão do “Programa de Desenvolvimento em Nanociência e Nanotecnologia” no Plano Plurianual 2004-2007 do governo federal. O Programa teve um aporte financeiro de R\$ 8.400.000,00 para o período. Assim, os temas nanociência e nanotecnologia passaram a fazer parte, pela primeira vez, desse instrumento obrigatório de planejamento, o Plano Plurianual, que todo governo deve produzir no seu primeiro ano de mandato, por ser uma determinação constitucional.

Em seguida, tivemos o Edital CNPq nº 29/2005, que previa a construção de dez Redes Cooperativas de Pesquisas para o período de 2005 a 2009, em substituição às quatro Redes decorrentes do Edital CNPq nº 01/2001. O ponto máximo desse processo foi a constituição dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs), considerados como programa “top” da ciência brasileira. Dentre os 144 INCTs aprovados com recursos públicos federais e estaduais, vários são relativos à nanotecnologia.

Os documentos oficiais relativos aos INCTs indicam que os Institutos deveriam encerrar formalmente suas atividades no segundo semestre de 2013. Várias prorrogações de prazos foram realizadas em função da descontinuidade de liberação dos recursos financeiros aos projetos aprovados. Novo Edital, denominado “Chamada INCT – MCTI/CNPq/CAPES/FAPs nº 16/2014”, veio tratar desse tema dos INCTs. O referido Edital tinha como objetivo “promover a consolidação dos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) que ocupam posição estratégica no Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação e a formação de novas redes de cooperação científica interinstitucional de caráter nacional e internacional, dentro do Programa criado pela Portaria MCT nº 429, de 17 de julho de 2008, e reeditado pela Portaria MCTI nº 577, de 4 de junho

de 2014”. O total de recursos públicos previstos para esse edital foi de R\$ 741.700.000,00.

Duas últimas ações do governo federal devem ser aqui indicadas. No ano de 2010, houve o Edital MCT/CNPq nº 74/2010, que implicou na construção de dezesseis redes de pesquisas de pequenas dimensões. De início, o Edital previa recursos de R\$ 4.920.000,00, mas já existiam problemas na liberação de recursos previstos em editais do CNPq. No ano de 2011, pela primeira vez, foi aberto um Edital para a constituição de redes de pesquisas em Nanotoxicologia. Como resultado, foram constituídas seis redes, com recursos previstos de R\$ 3.883.709,00, mas, no processo de construção dos trabalhos das redes aprovadas, os recursos ficaram em aproximadamente R\$ 1.500.000,00.

Os dados evidenciam a existência de um lastro significativo de recursos públicos mobilizados pelas atividades de nanotecnologia no Brasil. Todas as diversas áreas disciplinares que contribuem para a nanotecnologia têm um razoável nível de desenvolvimento no país e de inserção internacional.

Se no campo das ciências exatas e biológicas já temos grandes avanços, o mesmo não se pode dizer do campo das ciências humanas. Alguns estudos foram realizados (MARTINS, 2007b), um deles decorrente do Edital CNPq nº 13/2004, único edital para estudos de impactos econômicos, sociais, políticos e ambientais das nanotecnologias até o presente. Ele previa um valor de R\$ 200.000,00, sendo que cada projeto poderia ser contemplado com, no máximo, R\$ 25.000,00. No entanto, só foram gastos R\$100.000,00.

Os gestores de C&T e os pesquisadores envolvidos na produção de Nanociência e Nanotecnologia são oriundos apenas das ciências exatas e biológicas, sob a hegemonia dos físicos. Os documentos produzidos por esses profissionais apontam apenas para a produção científica e sua relação com as possíveis aplicações industriais. Esses documentos não contêm nenhuma referência ou preocupação com as inter-relações entre nanotecnologia, sociedade e meio ambiente. Mas é na sociedade e no meio ambiente que irão se materializar os

impactos da adoção dessa tecnologia. E tais impactos deverão ser estudados com fundamento nas ciências humanas.

Deve-se colocar em cena o conflito entre “ciência da produção” e “ciência dos impactos” na produção de novos conhecimentos e discutir a apropriação dos recursos públicos aplicados nesse desenvolvimento das nanotecnologias. Por “ciência da produção” entende-se todo o conhecimento produzido visando a novos processos e produtos que materializem uma mercadoria a ser colocada no mercado. Por “ciência dos impactos” entende-se aquela que produz conhecimento sobre impactos (sociais, econômicos, políticos, ambientais, éticos, regulatórios, na saúde etc.) decorrentes do uso de processos e produtos (nano)tecnológicos, seja por trabalhadores e/ou por consumidores.

A tese aqui defendida é a de que a apropriação dos recursos públicos que sustentaram o desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil no período 2001 a 2020 se deu de maneira não democrática, tendo em vista que a apropriação se deu numa proporção de mais de 99% para a produção de novos conhecimentos em processos e produtos nanotecnológicos e de menos de 1% para estudos dos impactos produzidos por esses novos processos e produtos. Seguem dados que demonstram tal afirmação.

Tabela 1 - Investimentos em nanotecnologia (Brasil, 2001-2006)

Ano	Recursos (R\$)
2001	25.468.475,25
2003	11.652.097,00
2004	17.515.128,45
2005	80.057.406,88
2006	5.200.000,00
Total	139.893.103,58

Fonte: (MARTINS, 2007a).

No período de 2001 a 2006, houve apenas um Edital voltado à “ciência dos impactos”, que previa a aplicação de apenas R\$ 200.000,00 e que, no final, aplicou ainda menos: so-

mente a metade do valor previsto (R\$ 100.000,00). A análise dos dados apresentados revela que o investimento em “ciência dos impactos” foi praticamente zero, se comparado ao total de investimentos em “ciência da produção”.

Aqui se estabelece um conflito de interesses que, de maneira geral, pode ser qualificado como interesses do capital (visando à sua reprodução ampliada) versus interesses da sociedade (no seu aspecto difuso, que inclui: saúde e segurança de trabalhadores na produção de nanopartículas, nanoprocessos e nanoproductos; saúde e segurança de consumidores de produtos nanotecnológicos; e meio ambiente, no sentido de que ecossistemas não venham a ser poluídos, degradados ou até extintos pelo impacto de nanopartículas, nanoprocessos e nanoproductos). A análise nanotoxicológica deveria ser regra básica aplicada a todos os conhecimentos gerados pela “ciência da produção”. Esses pontos demonstram como o tema objeto deste artigo necessita ser defendido nesse campo dos interesses difusos da sociedade.

Nos dados aqui apresentados, não estão incluídos os relativos aos Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologias (INCTs), dos Editais de 2008 e 2014. É preciso realizar uma investigação de cada um dos INCTs de Nanociência e Nanotecnologia para verificar o quanto do orçamento aprovado pelas agências de fomento foi usado para produzir novos conhecimentos em “ciência da produção” e em “ciência dos impactos”. Nossa experiência de 20 anos de atividades de pesquisas nesse campo nos permite sustentar a afirmação de que o princípio de apropriação não democrática dos recursos públicos continuou no processo de realização dos trabalhos dos diversos INCTs que existiram ou ainda existem.

O que seria uma apropriação democrática dos recursos públicos no desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil? Para haver democracia no desenvolvimento da ciência e da tecnologia, é preciso um controle público dessas atividades. É necessário romper com o paradigma adotado pela comunidade científica de que “só pode decidir quem entende” e passar a adotar outro paradigma, no sentido de que, “se a sociedade é boa para arrecadar recursos para pesquisas, é boa também

para participar das decisões sobre o processo de produção da ciência e tecnologia”. Nesse novo cenário, a apropriação dos recursos públicos não se daria somente em função da reprodução do capital, via tecnociência, mas também numa versão “balanceada”, onde haveria recursos materiais suficientes para estudos e pesquisas dos impactos da adoção de tecnologias na sociedade brasileira.

REFERÊNCIAS

- MARTINS, Paulo R.; BRAGA, Ruy. A tecnociência financeirizada: dilemas e riscos da nanotecnologia. **Universo e Sociedade**, n. 40, p. 139-147, jul. 2007.
- MORIN, Edgar. **O método 6 – Ética**. 2. ed. Tradução de Juremir Machado de Assis. Porto Alegre: Sulina, 2005.
- MORIN, Edgar. Por uma globalização plural. **Folha de S. Paulo**, 31 mar. 2002. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/fsp/mundo/ft3103200206.htm>. Acesso em: 18 jan. 2021.
- SILVA, T. E. M. *et al.* Desenvolvimento, modernidade e nanotecnologia. *In*: SILVA, T. E. M.; WAISSMANN, W. (orgs.). **Nanotecnologias – Alimentação e Biocombustíveis: um olhar transdisciplinar**. Aracaju: Criação, 2014.
- MARQUES, I. C. Humildade em prol de ciências republicanas e democráticas. **Jornal da Ciência**, n. 6451, 28 jul. 2020.
- MARTINS, Paulo R. (coord.). **Revolução Invisível: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil**. São Paulo: Xamã, 2007a.
- MARTINS, Paulo R. (coord.). **Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente em São Paulo, Minas Gerais e Distrito Federal**. São Paulo: Xamã, 2007b.

SÍNTESE

Elisa Kayo Shibuya¹

As palestras desta mesa levantaram discussões sobre a distribuição de recursos públicos em ciência e nanotecnologia, enfatizando a falta de investimentos em estudos de impactos sociais e ambientais. Houve uma clara convergência entre as falas com relação à necessidade de debates que promovam a integração entre sociedade e centros públicos de pesquisa, e entre as ciências interdisciplinares, com especial ênfase às ciências sociais, para que o desenvolvimento tecnológico caminhe lado a lado com o desenvolvimento social. Também foi debatida a falta de investimento público em estudos de impactos sociais e ambientais da nanotecnologia como consequência da mercantilização do conhecimento científico, que ocorre em todo o mundo e foca quase que exclusivamente a produção de inovação tecnológica industrial.

Mauricio Berger discorreu sobre a importância da participação da sociedade e do público não especialista nas discussões das tecnologias emergentes, enfatizando a enorme lacuna de comunicação que existe não somente entre os especialistas e a comunidade, mas também entre as diferentes áreas das ciências. As pesquisas relacionadas à nanotecnologia são de domínio quase exclusivo de pesquisadores das áreas de desenvolvimento, como engenheiros, químicos, físicos e biólogos. A participação de especialistas das ciências sociais interdisciplinares, capazes de avaliar os impactos sociais e os as-

1 Pesquisadora da Fundacentro/SP. Trabalha com exposição ocupacional a agentes físicos, principalmente com exposição ao calor. Possui bacharelado em física, com mestrado e doutorado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas e Nucleares (IPEN/CNEN-SP) na área de materiais. elisa.shibuya@fundacentro.gov.br

pectos éticos, políticos e regulatórios, é muito pequena e não consegue acompanhar o nível de desenvolvimento da inovação tecnológica.

As políticas de regulação e governança baseadas na ciência da evidência, que consideram apenas “aquilo que se pode medir”, fazem com que as decisões fiquem restritas a uma pequena comunidade de especialistas, afastando ainda mais a sociedade das discussões e decisões sobre políticas públicas relacionadas ao desenvolvimento tecnológico e seus impactos. Os comitês de especialistas detêm o poder de decisão sobre as políticas de regulação e sobre as questões de uso e de governança das nanotecnologias: sem a participação do público, resolvem sobre os riscos que o avanço da ciência e tecnologia impõe a toda sociedade.

Paulo Martins fez um levantamento da distribuição dos recursos públicos em nanotecnologia no Brasil, usando a seguinte classificação: ciência da produção e ciência dos impactos. Os dados apresentados pelo pesquisador, que vem acompanhando os programas do governo federal relativos ao desenvolvimento nanotecnológico desde seu início, demonstraram de forma inquestionável a falta de investimento público nos estudos de impactos sociais e ambientais decorrentes da nanotecnologia: menos de 1% do montante, em contraste aos mais de 99% voltados à produção tecnológica industrial. Ainda de acordo com o palestrante, até hoje, houve apenas um edital específico dirigido aos estudos de impactos econômicos, sociais, políticos e ambientais, que disponibilizou pelo CNPq um teto de 200 mil reais, em 2004. O palestrante relatou também a enorme dificuldade no levantamento destas informações.

Apesar das muitas evidências na literatura científica, os riscos à saúde e ao meio ambiente relacionados à nanotecnologia ainda não são suficientemente conhecidos para fundamentar uma política de regulação baseada na ciência da evidência. A ciência da precaução, por sua vez, fundamenta-se na incerteza. Por levar em conta alternativas e os riscos associados à tecnologia, a regulamentação com base na ciência da precaução é formulada de modo a possibilitar a adoção de medidas antecipatórias, minimizando-se possíveis riscos e

impactos. Para que o desenvolvimento social caminhe simultaneamente com o desenvolvimento tecnológico, é necessária a união de diferentes marcos que levem a uma mudança de paradigma. É fundamental que os problemas sejam debatidos e analisados pela sociedade, levando-se em consideração os riscos relacionados ao desenvolvimento científico.

As reflexões incitadas por José Manuel, a respeito das relações entre ciência e sociedade em tempos de pandemia, também demonstraram claramente a necessidade de uma mudança de paradigma. A pandemia escancarou a perda extrema dos vínculos sociais e da hospitalidade, e intensificou os debates e críticas ao sistema neoliberal, que exalta o individualismo pautado em valores como meritocracia, competitividade e eficiência.

No atual contexto, no qual muito se fala de ciência, observam-se dois extremos do conhecimento: de um lado, a excelência científica, claramente colonizada por valores neoliberais; do outro, a crescente aceitação social do negacionismo científico e da desconsideração de argumentos racionais. Uma das explicações para o aumento destes movimentos é que as pessoas, uma vez que estejam engajadas, sentem-se representadas e conectadas a um propósito.

O ataque a pesquisadores e instituições públicas e a desconstrução do conhecimento científico pautada por discursos populistas permitem a elaboração e implementação de políticas públicas sem qualquer embasamento científico. O negacionismo é um movimento que busca legitimar seus projetos políticos a partir de uma visão distorcida da realidade construída com base em métodos científicos.

Essas reflexões que surgiram com a pandemia podem representar uma oportunidade para a reconstrução dos vínculos sociais e da hospitalidade, em contraste à hostilidade. De acordo com José Manuel, a pandemia representa também uma oportunidade de reconstrução dos vínculos entre as universidades (ciência) e a sociedade, e uma oportunidade real de mudança de paradigma, de forma a reconectar a sociedade como um todo.

A Renanosoma (Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente) vem atuando desde 2004 no esforço de divulgar informações sobre a nanotecnologia para engajar o público não especialista nessas discussões. A Rede disponibilizou, até o momento, cerca de setecentos programas de entrevistas sobre o tema, além de organizar diversos seminários e eventos. Paulo Martins discorreu sobre as dificuldades enfrentadas ao longo desse período e a exclusão das ciências humanas dos debates e projetos voltados ao desenvolvimento de novas tecnologias, o que pode ser comprovado pela falta de investimento público.

A íntegra da Mesa “Nanotecnologia, C&T e democracia”, realizada on-line na tarde do dia 5 de novembro de 2020, durante o XVII Seminariosoma, da qual participaram Mauricio Berger, José Manuel Rodríguez, Paulo Roberto Martins e Elisa Shibuya, pode ser acessada no canal da Renanosoma (Nano-WebTV) no YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=opvSxNFOAU0>



PARTE 5:
NANOTECNOLOGIA E DESAFIOS EM SAÚDE
E SEGURANÇA NO TRABALHO

RELAÇÃO ENTRE TEORIA SOCIAL E ESTUDOS SOBRE TECNOLOGIAS NO BRASIL

*Adriano Premebida*¹

As nanotecnologias podem ser estudadas a partir de um ponto de vista social muito diversificado e amplo, em termos teóricos, conceituais e metodológicos, com um leque de possibilidades interpretativas pelas áreas Artísticas, Científicas ou Humanidades. Os horizontes de organização e diagnóstico de futuro dos estudos de fenômenos em escala nanométrica são vastos, na medida em que as combinações disciplinares são testadas, rompidas e ponderadas com elementos empíricos.

Os Estudos Sociais das Ciências e Tecnologias (ESCT) já estão consolidados no Brasil para pesquisas com temáticas em diversas áreas do conhecimento (PREMEBIDA; NEVES; ALMEIDA, 2011; MATTEDI, 2004). As maneiras de se abordar as questões sociais e políticas derivadas das nanotecnologias são muitas e, por isso mesmo, faremos uma breve consideração sobre alguns pontos importantes e tidos como centrais nestes estudos. O objetivo é mostrar, sucintamente, como as ciências sociais e humanidades aproximam-se dos conhecimentos científicos e tecnológicos em suas relações com a sociedade.

As abordagens analíticas possíveis para os estudos sobre as nanotecnologias, em seu dinamismo intrínseco à produção de conhecimento, são consolidadas academicamente há décadas (MARTINS *et al.*, 2007), embora ainda tratemos as ciências e tecnologias, muitas vezes, de um ponto de vista tido como

1 Doutor em Sociologia pela UFRGS e vinculado ao grupo de pesquisa TEMAS/ UFRGS e à Renanosoma. Atua em pesquisas na área dos Estudos Sociais das Ciências e Tecnologias, com investigações relacionadas à biotecnologia, instituições de redes sociotécnicas, infraestrutura tecnológica e mudanças climáticas na Amazônia. E-mail: premebida@hotmail.com.

técnico, em termos de sentido. Neste caso, este técnico é percebido, correntemente, como colado a fenômenos não sociais. Se nas universidades e institutos de pesquisa brasileiros, ao menos, as nanotecnologias – e tecnologias associadas – são temas importantes nas agendas de pesquisa, nas conversas informais, nos editais de financiamento, nas políticas setoriais e em estudos transversais – em termos disciplinares – a forma como as relações entre tecnologias e sociedade poderiam ser compreendidas ainda carece de elementos interpretativos oriundos das ciências sociais e humanas.

A discussão sobre as maneiras de produção e divulgação de conhecimento técnico e leigo sobre a área acaba por absorver outros assuntos dignos de consideração, como “pesquisa”, “inovação”, “desenvolvimento” e “responsabilidade”, pelo menos (FONSECA; PEREIRA, 2017). Essa capacidade das nanotecnologias abarcarem outras noções com força semântica e potencial de intermediação e diligência de transformação tecnológica é um atributo poderoso, mas não encontrado, tão facilmente, nas demais áreas do conhecimento.

A quinta geração (5G) de tecnologia de comunicação, para redes móveis e banda larga para fluxo de dados, é um exemplo da capacidade de intermediação e mudança em telecomunicações entre pessoas e coisas a partir de uma matriz tecnológica. As maneiras de compreender as relações criadas entre as ações humanas, setores da economia e focos de negócios, vinculação entre máquinas e suas interdependências sociais e políticas são inúmeras, dependendo das abordagens teóricas escolhidas. Poderíamos vincular nosso olhar aos fenômenos tecnológicos, como possibilidades logísticas de rastreamento de produtos, captura e elaboração de dados de consumo e aprendizado de máquina, através de noções como redes sociotécnicas ou sistemas tecnológicos, por exemplo, para estudos sobre algoritmos, inteligência artificial, infraestrutura tecnológica para produção de circuitos integrados, nanoprocessadores e sistemas de radiofrequência.

No jogo político em que as tecnologias são meios imprescindíveis para posicionamentos geoestratégicos, a intensificação da dinâmica e fluidez do capital, com a abertura de novos

mercados por plataformas digitais, e a difusão de imaginários, como a “neutralidade tecnológica”, podem proporcionar o imbricamento da dominação e das desigualdades tecnológicas com visões de mundo específicas, mas que se propagam como universais. As distorções e lógicas de domínio através das tecnologias são fenômenos muito estudados nas humanidades e ciências sociais. A multiplicidade de interpretações sociológicas disponíveis sobre as tecnologias é, por si mesmo, uma proposição de pesquisa. As derivações analíticas evidenciam a riqueza de posições políticas sobre o tema, e a interdisciplinaridade como espaço privilegiado nas avaliações críticas de controvérsias científicas e tecnológicas.

A importância de abordagens baseadas em teorias sociais para a compreensão dos processos de produção e usos de tecnologias não pode ser desprezada com a avalanche de novos serviços, produtos, artefatos e as consequências que trazem no dia a dia de cada um de nós. Embora a inserção de novas tecnologias tenha uma fluidez que perpassa as rotinas sociais de modo a evitar sobressaltos (não obstante a inevitabilidade destes, dependendo dos níveis de repercussão política de certas tecnologias), a consolidação das mesmas cria profundas camadas de condicionamento social duradouras. Mesmo pelo lado dos impactos positivos, o descolamento dos sistemas normativos e o desenvolvimento tecnológico acabam, muitas vezes, por aumentar desigualdades estruturais ou criar fenômenos sociais não esperados, com implicações desestabilizadoras nas relações sociais cotidianas.

Os serviços e produtos derivados das nanotecnologias constituem elementos e processos sociais cada vez mais destacáveis no sistema de produção industrial atual. As divisões e nervuras provenientes desses processos afetam todo o circuito da própria produção de conhecimento, como as ferramentas informacionais e computacionais, e as relações sociais amplas mediadas por tecnologias.

Os ESCT são promissores em auxiliar com métodos e abordagens teóricas as pesquisas ou mesmo as interpretações mais leigas, mas minimamente informadas cientificamente, sobre as relações sociais emergentes e prolongadas das nano-

tecnologias. A composição é vasta, mas pode ser descrita em algumas sínteses de tópicos sobre como lidar com o assunto: política científica e tecnológica; constituição do conteúdo do conhecimento; estruturação e autonomia do campo científico; relações centro/periferia; caracterização do consumo contemporâneo das inovações tecnológicas; decisão e escolhas sobre sistemas sociotécnicos; difusão científica e tecnológica; engajamento e ciência cidadã; e análise de impactos e riscos sociotécnicos.

Apesar da expectativa majoritária de leigos, e mesmo técnicos, sobre ter uma posição sobre ciência e tecnologia baseada em questões à parte de suas causas materiais, a ação prática é a maneira mais determinante de compreender os processos de apreensão do mundo pelos cientistas, técnicos e engenheiros. As cadeias de interação da produção do conhecimento envolvem socializações. Sem estas trocas e influências recíprocas, a aprendizagem não se incorpora. E mais: não oferece o horizonte mínimo de expectativa, controlada pelo grupo, sobre os problemas relevantes da área ou da disciplina, os métodos considerados válidos, os instrumentos cognitivos confiáveis e a maneira corrente de transformar ideias em artefatos concretos. A expressão de algo palpável sobressai em equipamentos, enzimas, chips, processadores e novos materiais. Não é apenas um mundo conceitual, com leis e teorias explicativas, que as ciências e tecnologias querem mostrar e produzir.

O entendimento do conhecimento científico e tecnológico como prática pode ser tratado de diversos modos, mas Steven Shapin e Simon Schaffer (2005) podem ser indicados pela clareza nos argumentos e pesquisa exemplar. Para entender a construção do conhecimento, os autores mostram a conveniência do uso de três tecnologias para a análise: 1) as “tecnologias materiais” são os equipamentos e o conjunto de instrumentos necessários aos experimentos, testes, simulações e medições; 2) as “tecnologias sociais” organizam a comunidade científica, estabelecem critérios de validação, credibilidade e legitimidade na rotina de trabalho de técnicos, cientistas e engenheiros; e 3) as “tecnologias literárias” ou “tecnologias

de inscrição” são as formas de representar o conhecimento, a forma como se criam elos de sentido para os textos, as inscrições e os artefatos circularem no e fora do laboratório.

Mais do que um reflexo da realidade, estes conhecimentos intervêm no mundo para poder criá-lo com relatos provisorios. Sem os artefatos técnicos e a infraestrutura material, o mundo das ideias e o próprio mundo social englobante das ações do conhecimento, a realidade evidenciada e os inúmeros artefatos que a estabilizam seriam outros. As múltiplas formas de existir têm, na ontologia que comanda as ciências e tecnologias, um modo particular de ação sobre a realidade. As ciências sociais se debruçam sobre as consequências dessas ações e os contextos em que são possíveis. Alguns estudos clássicos indicam o lugar privilegiado dessas ações no laboratório (LATOURET; WOOLGAR, 1997; LYNCH, 1985). Neste ambiente, os conhecimentos tácitos e formais são incorporados, intervenções são feitas e delas são retiradas as hipóteses, textos, gráficos, tabelas, procedimentos diversos e reflexões implícitas sobre a parafernália epistemológica e a atuação direta sobre a realidade.

Desde o Programa Forte em Sociologia do Conhecimento (BLOOR, 1991), as ciências sociais e humanidades alteraram explicitamente suas abordagens em relação aos estudos sobre as ciências e tecnologias. O conteúdo do conhecimento, e não apenas o seu contexto de produção, foi posto no centro da discussão. De uma forma ou de outra, as principais questões dos ESCT estão centradas em investigar as correlações entre ordem cognitiva e ordem social. Os questionamentos sobre os impactos sociais e ambientais das nanotecnologias, por exemplo, derivam, em grande parte, deste passo epistemológico para ter validade acadêmica. Isso foi importante, pois, além do rompimento entre contexto social e conteúdo da ciência e tecnologia, houve também a suspensão da canônica divisão entre política e ciência. Uma e outra agora não são irreconciliáveis, mas dependentes e de fronteiras fluidas.

As análises de Michel Callon (2006) esticam ainda mais as simetrias ao colocar a equivalência analítica entre humanos e não humanos como questão legítima de estudo. Para os

estudos sobre as nanotecnologias e áreas correlatas, isso é interessante, pois abandona hierarquias e coloca ordens de importância equivalentes entre humanos, máquinas e outros seres vivos. Na mesma lógica, fica sem sentido, empiricamente, diferenciar agenciamentos humanos e demais não humanos, como as máquinas (inteligência artificial, por exemplo). Isso traz importantes questões metodológicas e teóricas ao interior das ciências sociais e humanidades, que se enriquecem e levam a uma inevitável discussão sobre interdisciplinaridade.

As experimentações em seu ambiente por excelência, o laboratório, colocam em circulação premissas, artefatos, entidades vivas, hipóteses, técnicas e sistemas metodológicos para fortalecer redes sociotécnicas, seus artefatos e instituições de estabilização de enunciados. Um produto com base nanotecnológica precisa de financiamento, pesquisa, reprodução e manutenção de sistemas de ensino, estrutura de consumo tecnológico, redes de inovação conectadas, regulação e proteção setorial.

O convívio formal com sistema normativo e legal está interligado com instâncias mais ou menos informais de controle em democracias. As instituições do terceiro setor, sindicatos, associações da sociedade civil, relações de mercado ligadas a visões de mundo (como as decorrentes de preocupações ambientais e éticas), partidos políticos e interações microsociológicas – que, na soma, agregam poder de mobilização através de meios tecnológicos, como a Internet – estão ajustadas umas às outras de acordo com afinidades políticas e culturais de diversas ordens.

Se imaginarmos a trajetória de um produto ou serviço antes inexistente, e a maneira como vai se constituindo em realidade, teremos uma questão de primeira ordem em termos de investigação da emergência dos processos sociais. Estas entidades não são materializações de uma realidade pré-existente, mas emergências da prática humana, baseada em uma gigantesca rede sociotécnica. O tamanho desta é determinado pela pergunta de uma pesquisa social, e não pelas suas conexões empíricas, que são quase impossíveis de mapear, pelo tamanho das conexões e dinamismo.

Inevitavelmente, a discussão sobre nanotecnologias recai em narrativas agonísticas. Ou seja, um argumento combativo, cheio de controvérsias de toda ordem. Embora as questões técnicas tendam a sobressair nas discussões ligadas às posições políticas dos atores sociais, elas não são determinantes para estabilizar um enunciado como verdade. As controvérsias e negociações são elementos corriqueiros nas disputas científicas e tecnológicas, principalmente quando conhecimentos não assegurados estão na pauta sobre os objetos de investigação. Setores de pesquisa com grande repercussão social e midiática, como as nanotecnologias, possuem inclinação a ter maior disputa sobre formas de observação e maneiras de interpretar fenômenos e seus efeitos sociais e políticos.

As ciências sociais e humanidades oferecem importantes ferramentas teóricas e conceituais para as pessoas interessadas obterem subsídios interpretativos para suas dúvidas e prognósticos de futuro. Não obstante tais subsídios tenham sido apresentados de forma resumida, esperamos que consigam gerar curiosidade em todos(as) que se interessem pelo desenvolvimento das nanotecnologias e seus impactos sociais.

REFERÊNCIAS

- BLOOR, David. **Knowledge and Social Imagery**. Chicago: The University of Chicago Press, 1991.
- CALLON, Michel. Luchas y negociaciones para definir qué es y qué no es problemático. La socio-lógica de la traducción. **Redes: Revista de Estudios Sociales de la Ciencia**, v. 12, n. 23, p. 103-128, 2006.
- FONSECA, P. F. C.; PEREIRA, T. S. Pesquisa e desenvolvimento responsável? Traduzindo ausências a partir da nanotecnologia em Portugal. **Hist. cienc. saúde-Manguinhos**, v. 24, n. 1, p. 165-185, 2017.
- LATOUR, Bruno; WOOLGAR, Steve. **A vida em laboratório: a produção dos fatos científicos**. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

- LYNCH, Michael. **Act and Artifact in Laboratory of Science**. London: Routledge, 1985.
- MARTINS, Paulo Roberto *et al.* **Revolução Invisível**: desenvolvimento recente da nanotecnologia no Brasil. São Paulo: Xamã, 2007.
- MATTEDI, Marcos. Dilemas da simetria entre contexto social e conhecimento: a redefinição das modalidades de abordagem sociológica do problema do conhecimento. **Política & Sociedade**, n. 4, p. 41-79, 2004.
- PREMEBIDA, Adriano; NEVES, Fabrício Monteiro; ALMEIDA, Jalcione. Estudos sociais em ciência e tecnologia e suas distintas abordagens. **Sociologias**, v. 13, n. 26, 2011.
- SHAPIN, Steven; SCHAFFER, Simon. **El Leviathan y la bomba de vacuo**: Hobbes, Boyle y la vida experimental. Bernal: Universidad Nacional de Quilmes, 2005.

CONTROL BANDING: CONCEITO E APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA NANOMATERIAIS

Luís Renato Balbão Andrade¹

As nanotecnologias representam, ao mesmo tempo, um enorme desafio para a segurança e a saúde no trabalho, e uma excelente oportunidade de aplicar novas metodologias e abordagens que permitam aceitar, discutir, avaliar, controlar ou eliminar os riscos ocupacionais ainda na fase emergente desse novo campo do saber.

Ao manipular a matéria em escala nanométrica, descobre-se grande número de novas propriedades dos materiais. Tais características implicam comportamentos desconhecidos em relação à interação dessas partículas com o organismo humano e o meio ambiente. Diante desse cenário, é lícito supor que enfoques que possam lidar com essas incertezas sejam os mais apropriados para abordar a questão da segurança e saúde no trabalho envolvendo nanomateriais.

Control Banding

A ferramenta de Control Banding (CB), também conhecida como controle de faixas ou bandas, é uma abordagem derivada da iniciativa do UK Health and Safety Executive (HSE), de 1999, intitulada Control of Substances Hazardous to Health (COSHH) Essentials Model. A abordagem de CB foi desenvolvida como uma ferramenta pragmática para auxi-

1 Tecnologista sênior da Fundacentro no Rio Grande do Sul; engenheiro de minas, mestre em administração e doutor em engenharia de produção pela UFRGS; engenheiro de segurança no trabalho pela PUC/RS. E-mail: luis.andrade@fundacentro.gov.br.

liar a realização da gestão de riscos em situações envolvendo substâncias químicas potencialmente perigosas, onde praticamente não se tem dados sobre a toxicidade dessas substâncias (BROUWER, 2012).

Nesse tipo de enfoque, os níveis de risco (faixas) são determinados em uma matriz bidimensional, semelhante a uma planilha eletrônica com linhas e colunas, como exemplificado no esquema do quadro 1. As duas dimensões dessa matriz são associadas ao perigo e à exposição inerentes à situação, produto ou processo que se está analisando.

Dessa forma, no quadro 1, as faixas de perigo estão nas colunas, enquanto as faixas de exposição estão nas linhas.

Quadro 1 – Esquema genérico de uma matriz de Control Banding

Exposição (perigo)	Faixa de perigo 1 (baixo)	Faixa de perigo 2 (alto)
Faixa de exposição A (baixo)	Grupo de risco I	Grupo de risco II
Faixa de exposição B (alto)	Grupo de risco II	Grupo de risco III

O uso genérico dessa abordagem consistiria em classificar a situação, produto ou processo em sua respectiva faixa de perigo (1 – baixo ou 2 – alto), assim como em sua faixa de exposição (A – baixa ou B – alta). O grupo (faixa ou banda) de risco no qual essa situação, produto ou processo seria enquadrado corresponderia à interpolação entre as respectivas faixas de perigo e exposição.

A ideia de se classificar uma situação, produto ou processo em um grupo de risco prende-se ao fato de que, para cada grupo de risco, a ferramenta indica uma série de ações recomendadas para a mitigação desse risco. Como é possível deduzir, o CB é um enfoque totalmente qualitativo em que o risco não é mensurado, mas sim avaliado, prestando-se, assim, para situações onde exista muita incerteza, como é o caso dos impactos dos nanomateriais sobre a saúde humana e o meio ambiente.

Ao dispensar levantamentos quantitativos, normalmente mais dispendiosos, o enfoque de CB se adequa a operações de menor porte, como as realizadas em laboratórios de pesquisa ou micro e pequenas empresas. Tendo surgido no âm-

bito da indústria farmacêutica, conforme destacado por Brouwer (2012), a abordagem de CB expandiu-se para a indústria química em geral e, mais recentemente, tem sido aplicada a novas tecnologias, especialmente às nanotecnologias.

É importante destacar que as recomendações apontadas pela ferramenta para cada um dos grupos de risco, por si só, não garantem a segurança e a saúde dos trabalhadores; faz-se necessário que essas ferramentas estejam inseridas em um conjunto maior de ações para que se possa produzir a efetiva gestão do risco.

Por fim, em relação às ferramentas de CB, é possível afirmar:

- Não há uma limitação específica para o número de faixas tanto de risco como de exposição, o mesmo ocorrendo para o número de grupos (faixas ou bandas) de risco. Embora o esquema genérico apresente apenas duas faixas tanto para o perigo quanto para a exposição, a proposta CB Nanotool (PAIK *et al.*, 2008), por exemplo, apresenta uma matriz de quatro por quatro, com quatro grupos de risco (ANDRADE; AMARAL, 2013). Ainda que não haja uma limitação no número de faixas, uma quantidade grande determinaria, igualmente, muitos grupos de risco, o que poderia comprometer a facilidade com que a ferramenta seria utilizada.
- No esquema genérico, o grupo de risco I representaria um risco “baixo” e o grupo de risco II seria um grupo intermediário (risco “médio”), enquanto o grupo de risco III estaria relacionado ao risco “alto”. Para cada um desses três grupos, a ferramenta deve apresentar sugestões para a mitigação ou o controle do risco, compatíveis com sua gravidade ou intensidade.

Aplicação prática de CB em laboratório de pesquisa

Como resultado da tese de doutoramento do autor, foi desenvolvida uma Sistemática de Segurança e Saúde no Traba-

lho para Laboratórios com Nanotecnologia (S-SST/LabNano). Esta sistemática inclui uma ferramenta de CB nanoespecífica.

A S-SST/LabNano oferece elementos de reflexão sobre a utilização das nanotecnologias, de maneira que se possa mitigar os riscos à segurança e à saúde daqueles que com elas trabalham nos laboratórios de pesquisa. A Sistemática é baseada em documento de 2001 da Organização Internacional do Trabalho, apoiando-se em três aspectos: o Princípio da Precaução²; a participação dos trabalhadores envolvidos; e a ferramenta de CB nanoespecífica. Este terceiro aspecto é o que se pretende explorar com mais detalhes neste texto. Importante destacar que este trabalho, portanto, limita-se apenas à ferramenta de CB nanoespecífica desenvolvida para a Sistemática. Para uma gestão de risco mais efetiva, recomenda-se o uso da Sistemática como um todo (ANDRADE, 2013).

Em nenhum momento a S-SST/LabNano pretende ser mandatória no todo ou em parte, nem pode garantir a total segurança dos envolvidos. Ela apenas se constitui em um conjunto de sugestões baseadas na literatura internacional com o objetivo de contribuir para a preservação da saúde e a segurança daqueles que manipulam nanomateriais.

Para efeito da S-SST/LabNano, entende-se como nanopartículas ou nanomaterial toda e qualquer partícula que possua pelo menos uma de suas dimensões abaixo de 100 nanômetros. São quatro as etapas para a aplicação da ferramenta CB:

- 1. Determinação da faixa de perigo:** responder às questões do quadro 2, atribuindo o valor indicado na coluna “Ação” de acordo com a resposta. Esse valor representa o “Resultado” da questão.
- 2. Determinação da faixa de exposição:** responder às questões do quadro 3, procedendo da mesma forma que na etapa anterior para a faixa de perigo.
- 3. Determinação do grupo de risco:** a partir das faixas de perigo e exposição determinadas nas etapas ante-

2 O Princípio da Precaução pode ser grosseiramente resumido como o dito popular segundo o qual é melhor “prevenir” (diante da incerteza sobre as consequências das circunstâncias analisadas) “do que remediar” (porque eventualmente isso pode nem ser possível) (STEBBING, 2009).

riores, com a utilização do quadro 4, é possível obter o grupo de risco pela interpolação entre linha e coluna determinadas nas etapas 1 e 2. O grupo I é considerado como de menor risco em relação ao grupo III.

4. Adoção das recomendações de ações para a mitigação do risco de acordo com o grupo de risco determinado na etapa 3 (quadro 5).

Etapa 1 – faixa de perigo

Questão	Resposta	Ação	Resultado
Há dados conclusivos sobre a segurança do nanomaterial?	SIM	0	
	NÃO	+1	
Os nano-objetos são fibrosos ou contêm 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 2 – Determinação da faixa perigo

Etapa 2 – faixa de exposição

Questão	Resposta	Ação	Resultado
A frequência do uso dos nanomateriais é: alta = mais de uma vez por semana; média = uma vez por mês; ou baixa = menos de uma vez por mês?	ALTA	+1	
	MÉDIA	0	
	BAIXA	-1	
As quantidades usadas são grandes?	SIM	+1	
	NÃO	0	
Os nanomateriais estão livres (isto é, 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 (típica em operações de corte ou cominuição)?	SIM	+1	
	NÃO	-1	
Soma dos resultados obtidos			

Quadro 3 – Determinação da faixa de exposição

IMPORTANTE: Sempre que houver dúvida entre as respostas disponíveis ou variabilidade da mesma, deve ser escolhida a situação mais desfavorável (maior risco), ou seja, a resposta deve ser considerada como agravante (+1), conforme o Princípio da Precaução.

Etapa 3 – grupo de risco

Exposição (perigo)		Faixa de perigo		
		Atenuada (negativo)	Neutra (zero)	Agravada (positivo)
Faixa de exposição	Atenuada (negativo)	Grupo de risco I	Grupo de risco I	Grupo de risco II
	Neutra (zero)	Grupo de risco I	Grupo de risco II	Grupo de risco III
	Agravada (positivo)	Grupo de risco II	Grupo de risco III	Grupo de risco III

Quadro 4 – Matriz de risco

IMPORTANTE: Havendo mais de uma classificação possível para uma mesma atividade, situação ou nanomaterial, devem ser adotadas as medidas preconizadas no grupo de maior risco, ou seja, será adotado o grupo de risco maior.

Etapa 4 – recomendações 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 filtragem 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 uma única pessoa, desde que haja a comunicação do fato.</p> <p>Outras ações ou modificações definidas pelo conjunto dos envolvidos.</p>	<p>Capela de exaustão com filtragem HEPA (High Efficiency Particulate Air).</p> <p>Acesso controlado por meio de documentação.</p> <p>As tarefas poderão ser executadas fora do horário normal de trabalho por, no mínimo, duas pessoas.</p> <p>Outras ações ou modificações 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 definidas pelo conjunto dos envolvidos.</p>

Quadro 5 – Ações gerais em função do grupo de risco

Exemplo prático: descrição ficcional de uma atividade envolvendo nanomateriais

Em um laboratório, são conduzidos estudos sobre nanotoxicologia, especificamente sobre os nanotubos de carbono. Os experimentos consistem basicamente em expor peixes (zebra fish), pequenos invertebrados e, em alguns casos, culturas celulares a uma solução de água na qual estão dispersos os nanotubos de carbono. São testadas várias concentrações de nanotubos e vários períodos de exposição. Após a exposição, os peixes (ou os invertebrados, ou as culturas celulares) são examinados sob vários aspectos, confrontando-se os resultados com grupos de controle, que não foram submetidos à exposição, de modo a identificar alterações (ou agravos à saúde) que possam ser atribuídas à exposição a essas nanopartículas.

Embora não exista consenso sobre a toxicidade dos nanotubos de carbono, alguns estudos apontam para efeitos adversos, ainda que tais estudos sejam atacados por pesquisadores que indicam ter havido superdosagens.

Apesar das lacunas de conhecimento sobre os mecanismos toxicológicos das nanopartículas em geral e, em especial, dos nanotubos de carbono, como eles apresentam, em alguns casos, formato semelhante ao das fibras de asbesto, teme-se que esses nanotubos de carbono possam, de forma semelhante aos asbestos, serem cancerígenos.

Tecnicamente os nanotubos de carbono não são solúveis em água; dessa forma, para que seja obtida uma mistura homogênea desse material com água, as amostras são agitadas por mais de 24 horas antes de serem usadas nos experimentos. Essa é a fase de preparação das misturas que serão utilizadas na condução dos experimentos.

A agitação das misturas é conduzida em recipientes (frascos) fechados. Não há indícios de dispersão de nanotubos no ar durante a agitação, embora nunca tenha sido realizada uma análise específica sobre essa questão (amostragem de ar, por exemplo).

Por se tratar de um laboratório ligado a uma universidade, no período letivo, são feitas várias experiências concomi-

tantemente, incluindo a preparação de amostras que ocorre, normalmente, uma vez por semana.

Os nanotubos de carbono não são produzidos no próprio laboratório. Eles vêm de outros laboratórios que se dedicam a estudos voltados à produção desse material. Os nanotubos são recebidos em frascos fechados sob a forma de um pó fino. Este pó é misturado à água (que será agitada, como já descrito). A operação de transpor os nanotubos dos frascos de envio para os recipientes de mistura é feito em capela.

Uma vez que a exposição aos nanotubos tenha sido completada, as misturas de água com nanotubos de carbono são armazenadas em tambores para posterior descarte. Frascos e demais utensílios utilizados nas experiências são higienizados usando água corrente diretamente na pia e postos a secar em uma estufa. Embora sejam poucos os envolvidos nessas atividades, não há um controle rígido de acesso ao laboratório.

Nessas condições, qual seria o grupo de risco da atividade/laboratório descrito acima? Respondendo à pergunta:

Questões sobre PERIGO	Resposta	Ação	Resultado
Há dados conclusivos sobre a segurança do nanomaterial?	SIM	0	+1
	NÃO	+1	
Os nano-objetos são fibrosos ou contêm uma dimensão preponderante?	SIM	+1	+1
	NÃO	-1	
O material contém nanopartículas solúveis ou lábeis?	SIM	+1	-1
	NÃO	-1	
O nanomaterial contém elementos potencialmente cancerígenos ou mutagênicos?	SIM	+1	+1
	NÃO	-1	
Soma dos resultados obtidos			+ 2

Questões sobre EXPOSIÇÃO	Resposta	Ação	Resultado
A frequência do uso dos nanomateriais é: alta = mais de uma vez por semana; média = uma vez por mês; ou baixa = menos de uma vez por mês?	ALTA	+1	+1
	MÉDIA	0	
	BAIXA	-1	
As quantidades usadas são grandes?	SIM	+1	0
	NÃO	0	
Os nanomateriais estão livres (isto é, não fazem parte de uma matriz sólida ou líquida)?	SIM	+1	+1
	NÃO	-1	
Os nanomateriais são manipulados na forma de nanopós?	SIM	+1	+1
	NÃO	-1	
Há possibilidade de dispersão das nanopartículas no ar (típica em operações de corte ou cominuição)?	SIM	+1	-1
	NÃO	-1	
Soma dos resultados obtidos			+2

Nessas condições, tanto a faixa de perigo quanto a faixa de exposição são “agravadas”, o que indica que a situação analisada pertence ao grupo de risco III.

Conclusões

Como já apontado, a simples identificação do grupo de risco e a adoção das medidas correspondentes sugeridas não garantem a segurança e a saúde dos trabalhadores. Entretanto, são partes importantes no processo geral de gestão de riscos.

Como mencionado anteriormente, um dos aspectos fundamentais da S-SST/LabNano é a participação (BORDENAVE, 1994) dos envolvidos. Com isso, entende-se que a aplicação da Sistemática, no todo ou em partes, deve ser feita pela busca do consenso entre os envolvidos sobre quais são as faixas de perigo e exposição de suas tarefas (portanto, uma avaliação qualitativa), o que determinará o grupo de risco correspondente e as medidas de controle a ele relacionadas.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. R. **Sistemática de Segurança e Saúde no Trabalho para Laboratórios com Nanotecnologia (S-SST/**

- LabNano**). 2013. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- ANDRADE, L. R.; AMARAL, F. G. Proposals for risk management in nanotechnology activities. *In: AREZES et al. Occupational Safety and Hygiene*. Londres: Taylor & Francis Group, 2013.
- BORDENAVE, J. E. Díaz. **O que é participação?** São Paulo: Brasiliense, 1994. (Coleção Primeiros Passos).
- BROUWER, D. H. Control Banding Approaches for Nanomaterials. **Ann. Occup. Hyg**, British Occupational Hygiene Society, v. 56, n. 5, 506-514, 2012.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems – ILO-OHS 2001. Tradução de Gilmar da Cunha Trivelato. **Diretrizes sobre Sistemas de Gestão da Segurança e Saúde no Trabalho**. São Paulo: Fundacentro, 2005.
- PAIK, S. Y. *et al.* Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. **Ann. Occup. Hyg.**, British Occupational Hygiene Society, v. 52, n. 6, p. 419-428, 2008.
- STEBBING, M. Avoiding the Trust Deficit: Public Engagement, Values, the Precautionary Principle and the Future of Nanotechnology. **Journal of Bioethical Inquiry**, n. 6, p. 37-48, 2009.

NOVAS ABORDAGENS SOBRE ANÁLISE DE PERIGO E RISCOS DEVIDO ÀS NANOTECNOLOGIAS

José Renato Schmidt¹

A nanotecnologia (NT) é um dos ramos da ciência que mais crescem devido à sua importante aplicação nas mais diversas áreas, como agrícola (BAKER *et al.*, 2017), industrial (RAMANATHAN *et al.*, 2020), médica (LUO; NGUYEN; LAI, 2020; RUSSELL; LIU; GRODZINSKI, 2020), construção civil (OSCAR, 2018), cosméticos (DRÉNO *et al.*, 2019), alimentícia (BAHRAMI *et al.*, 2019) e têxtil (SYAFIUDDIN, 2019), dentre outras (STATNANO, 2020).

Recentemente, pesquisas identificaram a existência de 8.856 produtos no mercado compostos por nanomateriais (NM). Tais produtos estão sendo amplamente utilizados em grande demanda por países desenvolvidos, como Estados Unidos, China e Alemanha (STATNANO, 2020). Estima-se que o mercado global envolvendo NT deverá crescer mais de 200% no período de 2016 a 2021, alcançando o volume de 90,5 bilhões de dólares em 2021. Esse fato corrobora a integração de estudos sobre NT no Programa Horizonte Europa, o qual possui uma previsão de investimentos de 100 bilhões de euros no período de 2021 a 2027.

Aliado ao crescente aumento de produção, faz-se necessário atentar aos possíveis riscos que a NT pode representar à saúde humana e ao meio ambiente. O avanço da NT e seus produtos foram classificados como um risco emergente por

1 Possui graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental; pós-graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho; mestrado e doutorado em Engenharia Ambiental. Engenheiro de segurança do trabalho da Fundacentro; chefe substituto em exercício do Centro Regional Sul – Santa Catarina da Fundacentro. E-mail: jose.schmidt@fundacentro.gov.br

diversas instituições, dentre elas a European Agency for Safety & Health at Work (EU-OSHA, 2009) e a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2010). Atualmente, esse risco já é uma realidade (FUNDACENTRO, 2018) considerada também pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2017).

A preparação de produtos contendo NT envolve a utilização de NM em diversas formas e quantidades, o que pode ocasionar várias exposições, como a ocupacional, a ambiental e a do consumidor. Todavia, os danos inerentes a essas exposições ainda não são totalmente conhecidos (FUNDACENTRO, 2018; WHO, 2017).

Dentre as categorias de exposições, a ocupacional é a primeira com potencial de acarretar riscos, uma vez que os trabalhadores estão envolvidos nas atividades de pesquisas, desenvolvimento e manufatura dos produtos, podendo permanecer longos períodos expostos nos seus ambientes laborais (ARCURI; PONTES, 2018; EU-OSHA, 2009; FUNDACENTRO, 2018).

Riscos dos nanomateriais

Ao se tratar da avaliação dos NM, os conceitos de “risco” e “perigo” devem ser delimitados como um objeto de estudo a fim de facilitar o entendimento das relações condicionantes a ambos.

A ISO define “risco” como a combinação da probabilidade da ocorrência de eventos ou exposições perigosas relacionadas aos trabalhos, e da gravidade das lesões e problemas de saúde que podem ser causados pelo(s) evento(s) ou exposição(ões) (ISO 45001, 2018).

O termo “perigo” é definido como uma fonte com potencial para causar lesões ou problemas na saúde (ISO 45001, 2018). Para conhecer o perigo dos nanomateriais (NM), são necessários estudos toxicológicos e informações sobre as características físico-químicas dos NM.

Existe uma lacuna de conhecimento nessa área para afirmar se os NM são nocivos ou não, e se apresentam uma toxici-

dade diferente do mesmo material na sua forma macrométrica e micrométrica (ARCURI; VIEGAS; PINTO, 2014).

Para verificar se um produto apresenta ou não efeitos tóxicos ou nocivos e, se for o caso, qual é a natureza desses efeitos e seu grau de toxicidade, devem ser feitos testes toxicológicos (MATIAS, 2014). Eles partem do princípio de que os organismos-teste (coelhos, ratos, peixes, microcrustáceos etc.) são expostos a doses por um determinado período de tempo (curto, médio e longo prazo).

Inúmeros estudos toxicológicos com NM “in vivo” e “in vitro” relatam potenciais efeitos para alguns tipos de nanopartículas (NP). Por exemplo: potencial de resposta inflamatória e estresse oxidativo culminando em mutagenicidade (ADEYEMI *et al.*, 2020); carcinogenicidade (LAUX *et al.*, 2018); e problemas na reprodução (EMA *et al.*, 2017; GONÇALVES *et al.*, 2018). A continuação desses estudos é necessária para identificar os riscos à saúde relacionados à exposição ocupacional a materiais na escala nano (NIOSH, 2009).

As propriedades intrínsecas dos NM – como solubilidade, morfologia, tamanho, área superficial, aglomeração, modificação superficial, estabilidade da suspensão e estrutura cristalina – são essenciais para a avaliação de suas interações biológicas nos estudos de toxicologia (AKTER *et al.*, 2018; BAKAND; HAYES, 2016; BUZEA; PACHECO, 2019; FUNDACENTRO, 2018; KHAN, 2020; NAVYA; DAIMA, 2016; KÖERICH *et al.*, 2020; SAJID *et al.*, 2015; SHARIFI *et al.*, 2012; SUKHANOVA *et al.*, 2018; VISWANATH; KIM, 2016).

Métodos de avaliação de risco dos nanomateriais

Para estimar o risco ocupacional na manipulação de NM, métodos qualitativos têm tido preferência em relação aos quantitativos, uma vez que estes apresentam dificuldades quanto à técnica, métrica e aparelhos adequados para avaliação. Existe também a dificuldade de comparação dos resultados obtidos devido à ausência de regulamentação

de limites para NM (FUNDACENTRO, 2018; LIGUORI *et al.*, 2016). Uma das principais estratégias de avaliação qualitativa são os chamados Controle de Bandas (CB), amplamente utilizados por vários pesquisadores ao longo dos últimos anos devido à simplicidade em executar a avaliação do risco ocupacional.

Avaliar o risco sem considerar as medidas de controle existentes no ambiente de trabalho pode não ser suficiente. Em sua maioria, os CB apresentam como característica principal indicar qual medida de controle é a mais adequada para a mitigação do risco na realização de determinada tarefa e com determinado NM.

Outra alternativa para a avaliação do risco ocupacional na manipulação de NM se refere à utilização de Redes Bayesianas (RB), considerado um modelo probabilístico para a tomada de decisão com o raciocínio da incerteza (KJÆRULFF; MADSEN, 2013).

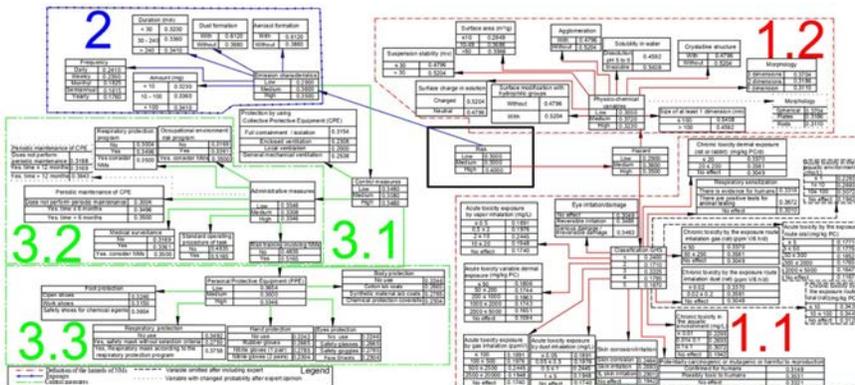
As RB são amplamente utilizadas na avaliação de risco nas mais diversas áreas, como a ocupacional, no que diz respeito à avaliação do risco ocupacional relacionado ao conforto ambiental em Unidade de Tratamento Intensivo (UTI) (VIEIRA, 2016). São utilizadas na área médica (KYRIMI *et al.*, 2020) e também na área ambiental para avaliar o risco de ruptura em redes de abastecimento de água (KABIR *et al.*, 2015).

Uma RB é uma estrutura gráfica que permite ao usuário a representação e o raciocínio sobre um domínio incerto (KJÆRULFF; MADSEN, 2013). As RB são compostas de duas partes complementares: uma parte qualitativa e outra quantitativa (KJÆRULFF; MADSEN, 2013). A parte qualitativa é um modelo gráfico no qual as variáveis são os “nodos” e as conexões entre os nodos são feitas por meio de “arcos” (setas), nos quais representam-se as dependências entre as variáveis.

Segundo Nassar (2018), a parte quantitativa de uma RB é composta por três classes de probabilidade: a) o conjunto de probabilidades condicionais associadas aos arcos existentes no modelo gráfico da parte qualitativa; b) as probabilidades estimadas a priori das hipóteses diagnósticas ou categorias de classificação (nodo de saída); c) as probabilidades de cada

Na RB de Schmidt *et al.* (2020), para a avaliação do risco ocupacional, são também consideradas informações sobre testes toxicológicos, as características físico-químicas do NM, as características inerentes à tarefa e as medidas de controle existentes para mitigar o risco ocupacional (figura 2). Essa RB diferencia-se de outras abordagens pois, além de avaliar o risco ocupacional, a Rede fornece informações que auxiliam a tomada de decisões, uma vez que é possível identificar quais são as variáveis que mais estão influenciando o perigo, a exposição e, por fim, o risco. Além disso, são fornecidas respostas rápidas às simulações, já que é um modelo compilado. Assim, para cada informação fornecida nas variáveis, a Rede oferece respostas interativamente.

Figura 2



Fonte: Schmidt *et al.* (2020).

Considerações finais

Nanotecnologias podem trazer grandes benefícios nas mais diversas áreas. Porém, os efeitos provocados na saúde e no meio ambiente, em todo o ciclo de vida dos produtos que envolvem NM, ao longo do tempo (curto, médio e longo prazo), requerem informações mais completas, pois não se sabe ainda qual o impacto das NP na saúde humana e no meio ambiente.

Como a nanotecnologia é uma ciência nova, os métodos de avaliação de risco ocupacional envolvendo NM estão em constante aperfeiçoamento. Os métodos apresentam vantagens e desvantagens, sejam as abordagens de CB ou de RB. Dessa forma, é necessária a avaliação de risco para subsidiar as implantações de medidas de modo a minimizar os possíveis riscos ao trabalhador.

São necessários mais estudos envolvendo todas as variáveis que definem o perigo, sobre nanotoxicologia e sobre as características físico-químicas dos NM para a correta definição do perigo.

REFERÊNCIAS

- ADEYEMI, J. A. *et al.* Cytotoxicity, mutagenicity, oxidative stress and mitochondrial impairment in human hepatoma (HepG2) cells exposed to copper oxide, copper-iron oxide and carbon nanoparticles. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 189, p. 109982, set. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109982>.
- AKTER, M. *et al.* A systematic review on silver nanoparticles-induced cytotoxicity: Physicochemical properties and perspectives. **Journal of Advanced Research**, v. 9, p. 1-16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jare.2017.10.008>.
- ARCURI, A. S. A.; PONTES, J. M. Nanotecnologia e seus impactos na saúde, meio ambiente e no mundo do trabalho. *In*: HESS, S. C. **Ensaio sobre poluição e doenças no Brasil**. São Paulo: Outras Expressões, 2018.
- 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.; WAISSMANN, W. **Nanotecnologias, Alimentação e Biocombustíveis: um olhar transdisciplinar**. Aracaju: Criação, 2014.
- BAHRAMI, A. *et al.* Nanoencapsulated nisin: An engineered natural antimicrobial system for the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 94, p. 20-31, dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.10.002>.

- BAKAND, S.; HAYES, A. Toxicological considerations, toxicity assessment, and risk management of inhaled nanoparticles. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 17, n. 6, p. 1-17, 2016.
- BAKER, S. *et al.* Nanoagroparticles emerging trends and future prospect in modern agriculture system. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 53, p. 10-17, jul. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2017.04.012>.
- BUZEA, C.; PACHECO, I. Toxicity of nanoparticles. *In*: PACHECO-TORGAL, F. *et al.* (orgs.). **Nanotechnology in Eco-efficient Construction**. 2. ed. Sawston, Reino Unido: Woodhead, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-102641-0.00028-1>.
- DRÉNO, B. *et al.* Safety of titanium dioxide nanoparticles in cosmetics. **Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 33, n. S7, p. 34-46, 2019.
- EMA, M. *et al.* A review of reproductive and developmental toxicity of silver nanoparticles in laboratory animals. **Reproductive Toxicology**, v. 67, p. 149-164, jan. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reprotox.2017.01.005>.
- EUROPEAN AGENCY FOR SAFETY AND HEALTH AT WORK (EU-OSHA). **Outlook 1 - New and emerging risks in occupational safety and health**. Luxemburgo: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. Disponível em: <https://osha.europa.eu/en/publications/new-and-emerging-risks-occupational-safety-and-health/>.
- FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO (FUNDACENTRO). **Nota Técnica 01/2018**: Os desafios da saúde e segurança no trabalho (SST) para uma produção segura com o uso de nanotecnologia. São Paulo: Fundacentro, 2018. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/arquivos/projetos/Nota%20tecnica%20%2001-2018%20Corrigida%20e%20Revisada.pdf>
- GONÇALVES, R. A. *et al.* Comparative assessment of toxicity of ZnO and amine-functionalized ZnO nanorods toward *Daphnia magna* in acute and chronic multigenerational

- tests. **Aquatic Toxicology**, v. 197, p. 32-40, abr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.02.002>.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 45001**. Sistemas de gestão de segurança e saúde ocupacional. 2018.
- KABIR, G. *et al.* Evaluating risk of water mains failure using a Bayesian belief network model. **European Journal of Operational Research**, v. 240, n. 1, p. 220-234, jan. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.033>.
- KHAN, S. A. Metal nanoparticles toxicity: role of physicochemical aspects. **Metal Nanoparticles for Drug Delivery and Diagnostic Applications**, p. 1-11, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-816960-5.00001-X>.
- KJÆRULFF, U. B.; MADSEN, A. L. **Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis**. New York: Springer, 2013.
- KÖERICH, J. S. *et al.* Toxicity of binary mixtures of Al₂O₃ and ZnO nanoparticles toward fibroblast and bronchial epithelium cells. **Journal of Toxicology and Environmental Health**, v. 83, n. 9, p. 1-15, 2020.
- KYRIMI, E. *et al.* Medical idioms for clinical Bayesian network development. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 108, p. 103495, jun. 2020. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2007.00364>. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbi.2020.103495>.
- LAUX, P. *et al.* Nanomaterials: certain aspects of application, risk assessment and risk communication. **Archives of Toxicology**, v. 92, p. 121-141, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00204-017-2144-1>.
- LIGUORI, B. *et al.* Control banding tools for occupational exposure assessment of nanomaterials – Ready for use in a regulatory context? **NanoImpact**, v. 2, p. 1-17, abr. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.impact.2016.04.002>.
- LUO, L. J.; NGUYEN, D. D.; LAI, J. Y. Dually functional hollow ceria nanoparticle platform for intraocular drug delivery: A push beyond the limits of static and dynamic ocular barriers toward glaucoma therapy. **Biomaterials**, v. 243, p.

- 119961, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.119961>.
- MARVIN, H. J. P. *et al.* Application of Bayesian networks for hazard ranking of nanomaterials to support human health risk assessment. **Nanotoxicology**, v. 11, n. 1, p. 123-133, jan. 2017. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17435390.2016.1278481>.
- MATIAS, W. G. Toxicologia Ambiental. **Apostila**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. 2014.
- NASSAR, S. M. Sistemas Especialistas Probabilísticos. **Apostila**. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação. Departamento de Informática e de Estatística. Universidade Federal de Santa Catarina. 2018. Disponível em: http://www.inf.ufsc.br/~silvia/disciplinas/sep/material_didatico/MaterialDidatico.pdf.
- NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). **Interim Guidance for Medical Screening and Hazard Surveillance for Workers Potentially Exposed to Engineered Nanoparticles**. Cincinnati, OH, EUA: NIOSH, 2009. Disponível em: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/5202>.
- NAVYA, P. N.; DAIMA, H. K. Rational engineering of physico-chemical properties of nanomaterials for biomedical applications with nanotoxicological perspectives. **Nano Convergence**, v. 3, n. 1, p. 1-14, fev. 2016. Disponível em: <http://www.nanoconvergencejournal.com/content/3/1/1>.
- ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Riesgos emergentes y nuevos modelos de prevención en un mundo de trabajo en transformación**. Genebra: Suíça, 2010. Disponível em: http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_protect/---protrav/---safework/documents/publication/wcms_124341.pdf.
- OSCAR, B. V. **Avaliação toxicológica de nanoestruturas de óxido de zinco incorporadas em argamassa**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia Am-

biental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/198605>.

- RAMANATHAN, S. *et al.* Nanostructured aluminosilicate from fly ash: Potential approach in waste utilization for industrial and medical applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 253, p. 119923, 20 abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119923>.
- RUSSELL, L. M.; LIU, C. H.; GRODZINSKI, P. Nanomaterials innovation as an enabler for effective cancer interventions. **Biomaterials**, v. 242, p. 119926, jun. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.119926>.
- SAJID, M. *et al.* Impact of nanoparticles on human and environment: review of toxicity factors, exposures, control strategies, and future prospects. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 22, n. 6, p. 4122-4143, 2015.
- SCHMIDT, J. R. A. *et al.* Probabilistic model for assessing occupational risk during the handling of nanomaterials. **Nanotoxicology**, 10 set. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17435390.2020.1815094>.
- SHARIFI, S. *et al.* Toxicity of nanomaterials. **Chem. Soc. Rev.**, v. 41, n. 6, p. 2323–2343, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C1CS15188F>.
- STATNANO. **Nanotechnology Products Database (NPD)**. Lund, Suécia, 26 out. 2020. Disponível em: <https://product.statnano.com>.
- SUKHANOVA, A. *et al.* Dependence of Nanoparticle Toxicity on Their Physical and Chemical Properties. **Nanoscale Research Letters**, v. 13, 7 fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2457-x>.
- SYAFIYUDDIN, A. Toward a comprehensive understanding of textiles functionalized with silver nanoparticles. **Journal of the Chinese Chemical Society**, v. 66, n. 8, p. 793-814, ago. 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jccs.201800474>.
- VIEIRA, E. M. de A. **Risco ocupacional relacionado ao conforto ambiental em UTIs**. 2016. 206 f. Dissertação (Mestrado

em Engenharia de Produção)–Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/9931/2/Arquivototal.pdf>.

VISWANATH, B.; KIM, S. Influence of Nanotoxicity on Human Health and Environment: The Alternative Strategies. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 242, p. 61-104, 2016. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F398_2016_12.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). WHO Guidelines on Protecting Workers from Potential Risks of Manufactured Nanomaterials. Genebra, Suíça: WHO, 2017. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525054/pdf/Bookshelf_NBK525054.pdf

SÍNTESE

Paulo Roberto Martins¹

A mesa teve início com a palestra de Adriano Premebida, cujo tema foi “Relação entre teoria social e estudos sobre tecnologias no Brasil”. Em sua exposição, ele contemplou a constituição, no Brasil, do campo de investigação científica denominado de Estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade, com a contribuição de membros da Renanosoma que fizeram suas reflexões em diversos seminários internacionais da Rede, realizados anualmente desde 2004. Adriano também expôs as principais linhas teóricas que dão sustentação às investigações neste campo científico e, com isso, contribuem para o processo de interação entre as diversas ciências presentes no desenvolvimento das nanotecnologias no Brasil. Oriundo das ciências humanas, o palestrante apresentou uma visão crítica sobre a participação destas ciências na produção de estudos que relacionem as tecnologias e a saúde dos trabalhadores, entre outros aspectos da contribuição das ciências humanas ainda de pouca dimensão.

A seguir, o debatedor Persio Dutra, especialista em saúde dos trabalhadores, ex-dirigente sindical e ex-presidente do DIIESE, fez um questionamento sobre a relação entre as tecnologias e a saúde dos trabalhadores. Citou como exemplo o caso de trabalhadores de *e-commerce* que são revistados, e não têm acesso nem ao uso de um banheiro com dignidade. Qual a relação entre tecnologia, padrões e trabalhadores quase escri-

1 Sociólogo, mestre e doutor em Ciências Sociais, pesquisador aposentado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), fundador e coordenador da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma). E-mail: marpaulo@uol.com.br.

vos? Em um país racista e misógino, como as ciências sociais tratam desse assunto?

Ao responder, Adriano ressaltou questões estruturais da sociedade brasileira. A tecnologia acaba por reproduzir estruturas terríveis presentes na relação patrão-empregado, ainda mais em um contexto onde se está tentando destruir os sindicatos e outras associações que defendem os trabalhadores. Adriano ressaltou também a crítica às ciências humanas brasileiras, pois é raro algum trabalho que analise as questões das tecnologias e da saúde dos trabalhadores. Este objeto de pesquisa só chegou a Adriano por meio da atuação dos colegas pesquisadores da Fundacentro que atuam na Renanosoma. Mesmo na área da sociologia do trabalho o tema ainda é pouco pesquisado e publicado, o que é muito ruim, pois as condições estão se agravando e tendem a piorar na conjuntura em que vivemos.

Paulo Martins, então, explicitou a proposta de um projeto de pesquisa para estudar os dezesseis Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia em Nanotecnologia, que existiram de 2008/2009 a 2016/2017. Na opinião de Paulo, a Renanosoma está devendo a realização deste tipo de pesquisa. Adriano concordou que este é um tema maduro para se realizar um projeto de pesquisa, ponderando que é possível estabelecer critérios para definir quais foram os Institutos mais importantes e estudá-los segundo este recorte. De acordo com Adriano, o maior gargalo será encontrar um edital aberto pela CAPES ou pelo CNPq que contemple este tipo de estudo.

O segundo palestrante foi o doutor em engenharia de produção Luís Renato Andrade, pesquisador da Fundacentro, que apresentou um método denominado de Control Band aplicado aos nanomateriais. A palestra foi uma aula prática a todos os interessados na temática nanotecnologia, saúde e segurança dos trabalhadores que atuam nos processos produtivos com a presença de nanomateriais.

Após a apresentação de Luís Renato, Persio perguntou como os resultados da análise por Control Band seriam informados à diretoria da empresa, responsável pelas medidas de proteção, ou como seria a fiscalização nesses locais

de trabalho. Quanto à fiscalização, Luís Renato afirmou que, sem ela, nada funciona (ou, pelo menos, não há evidências de que funcione). Paradoxalmente, no entanto, não há país no mundo que consiga fiscalizar tudo. A fiscalização, então, passa a ser uma questão de equilíbrio entre a disponibilidade da fiscalização e as punições que podem decorrer. A punição, inclusive, pode vir por parte da sociedade, quando os consumidores deixam de comprar os produtos da empresa que não observa a legislação. Sobre a receptividade, Luís Renato observou que é no âmbito das universidades que estas ferramentas – Control Band e Redes Bayesianas – têm sido experimentadas, em estudos acadêmicos, dado que é difícil a interação com as empresas para uma aplicação prática destas ferramentas.

De acordo com Persio, o patrão brasileiro está acostumado com a escravidão, e as medidas tomadas pelo atual governo enfraquecem os movimentos sociais e sindicais, para atender ao patronato. Nesse cenário, segundo o debatedor da mesa, ferramentas como o Control Band e as Redes Bayesianas, infelizmente, não serão utilizadas. É preciso agir, ou não haverá nada que diga respeito à proteção dos trabalhadores submetidos a processos de produção com nanomateriais.

Paulo Martins perguntou a Luís Renato sobre a existência de grupos de pesquisa que têm trabalhado constantemente com a ferramenta do Control Band. O palestrante respondeu não ter identificado grupos de pesquisa que apliquem o Control Band a questões nanoespecíficas. Entretanto, as concepções do Control Band foram incorporadas na NR1, que, na gestão, indica o uso de uma avaliação qualitativa que possa priorizar os riscos mais proeminentes e significativos, para que recebam mais atenção em um processo de melhoria contínua. Esta é a teoria. Como vai funcionar, na prática, ainda não se sabe, pois a NR1 entra em vigor em março de 2021. Para Luís Renato, esta nova NR1 é uma evolução, na medida em que supera a necessidade de dados quantitativos e admite uma solução também por dados qualitativos, como prega o Control Band – embora a NR1 não utilize esta nomenclatura, ela emprega conceitos da ferramenta.

O terceiro palestrante foi o doutor em engenharia ambiental José Renato Schmidt, pesquisador da Fundacentro em Santa Catarina, que apresentou uma aula sobre como utilizar a metodologia das Redes Bayesianas para a avaliação dos riscos e perigos do uso dos nanomateriais nos processos produtivos de mercadorias. O debatedor Persio perguntou sobre as reações das empresas a respeito do trabalho desenvolvido por José Renato, fruto de sua tese de doutorado. O trabalho com as Redes Bayesianas, contudo, não foi ainda apresentado a nenhuma empresa – a metodologia foi publicada em agosto de 2020 e, pela primeira vez, integrava a programação de um seminário científico. Estas Redes são uma ferramenta que pode ser aplicada na avaliação de riscos de nanomateriais, e José Renato concordou que é importante apresentá-las em reuniões com indústrias.

Em seguida, motivados por um questionamento de Paulo Martins, os participantes discutiram o uso das Redes Bayesianas. A ferramenta não permite, por exemplo, selecionar um material com apenas 1% de probabilidade de ser tóxico. Para ter um resultado, é necessário introduzir na Rede Bayesiana as informações relativas às diversas variáveis (tipo de nanomaterial, equipamentos de proteção etc.). Arline Arcuri destacou que a matriz produzida permite fazer várias alterações em busca de um risco baixo. Luís Renato lembrou que não é possível alterar as características de um nanomaterial, mas outras variáveis podem ser alteradas para se encontrar a situação de menor risco, a partir das simulações que a Rede Bayesiana é capaz de fazer. Já Ana Yara Paulino indagou sobre a possibilidade de inserir na matriz variáveis de cunho cultural. Segundo José Renato, isso seria possível na chamada “caixa aberta”, mas ressaltou que tais alterações poderiam aumentar a subjetividade da avaliação, considerando que, no caso cultural, não haveria um conjunto de especialistas para referendar as escolhas feitas.

Por fim, Arline propôs aos colegas Luís Renato e José Renato que transformassem suas teses de doutorado em manuais acessíveis, tornando a utilização das ferramentas apresentadas mais fácil para quem for utilizá-las no campo da saúde do trabalhador e nanotecnologia. Proposta acatada por ambos.

A íntegra da Mesa “Nanotecnologia e desafios em saúde e segurança no trabalho”, realizada on-line na manhã do dia 6 de novembro de 2020, durante o XVII Semináriosoma, da qual participaram Adriano Premebida, Luís Renato Andrade, José Renato Schmidt e Persio Dutra, pode ser acessada no canal da Renanosoma (NanoWebTV) no YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=5KvcJLsmr5k&t=5478s>



PARTE 6:
TECNOLOGIAS E SOCIEDADE:
TEORIA SOCIAL, AGRICULTURA E SAÚDE

MUITO ALÉM DO REINO DE LILIPUTE: NANOTECNOLOGIA – QUANDO O TAMANHO É IMPORTANTE

*Tania Elias Magno da Silva*¹

Em *As aventuras de Gulliver* (1726), uma obra divertida e ficcional escrita no início do século XVIII, Jonathan Swift traz à tona as inquietações de seu tempo. A obra é, sem dúvida, uma crítica à própria Inglaterra e seu modelo de governo, mas também um olhar para o futuro: um vasto, desconhecido e perigoso oceano a desbravar, mundos e povos novos descobertos nas aventuras marítimas e o prenúncio da Primeira Revolução Industrial², que ocorreria em 1760. Na época em que essa obra foi escrita e publicada, havia apenas fábricas manufatureiras, mas, poucos anos depois, em decorrência da Primeira Revolução Industrial e do surgimento da máquina a vapor, essas fábricas se transformariam em indústrias e, depois, em complexos industriais. Ao final do século XIX, o mundo já havia sido palmilhado.

O livro relata as aventuras de Gulliver, um médico inglês aventureiro que, após o naufrágio do navio em que viajava, chega semiafogado a uma terra desconhecida, a ilha de Lilibute. Quando nosso herói recupera a consciência, vê-se preso por minúsculas criaturas e reage com uma atitude de espanto e desprezo. Pequenininhos, engraçados e frágeis pareciam ser os minúsculos habitantes, que mediam apenas 15 centímetros! Lilibute, em sua minúscula dimensão, parecia um reino para

1 Professora emérita da Universidade Federal de Sergipe, membro da Renanossoma, coordenadora do Grupo de Estudos e Pesquisas Itinerários Intelectuais, Imagem e Sociedade (GEPIIS/UFS). E-mail: taniamagno@uol.com.br,

2 Data da primeira fábrica têxtil utilizando um tear movido a vapor, na Inglaterra, na cidade de Liverpool.

não se levar a sério nem temer. Não poderia representar uma ameaça, pois a grandeza e a força estavam representadas na figura de Gulliver, um gigante para aquelas aparentemente frágeis criaturas.

No século XVIII e XIX, tudo era grandioso. Nada era minúsculo, diminuto, invisível. O poder estava representado pela solidez e grandiosidade dos palácios, das prisões e dos prédios das fábricas, que eram imensos e pesados, e ocupavam muito espaço. Tudo era sólido como se viesse para ter vida eterna. As fábricas impunham-se como fortalezas, e requeriam muitos operários e muito combustível para funcionarem.

No início do século XVIII, nada incitava o imaginário coletivo a pensar o processo de evolução e o progresso do grandioso para o minúsculo e invisível. Ninguém viajava, sonhava, delirava ou encantava-se com o universo de átomos, nêutrons, prótons etc.³ A revolução científica anunciada, embasada nas proezas e nas promessas das transformações em voga, matéria-prima para a literatura de ficção científica, não estava voltada para a que estamos hoje vivendo, produtora de um novo imaginário. O invisível é o futuro!

Desafios dos novos tempos

Passados quase 300 anos desde a publicação de “As aventuras de Gulliver”, deixamos para trás o grandioso, pesado e sólido para ingressarmos no mundo das partículas atômicas e subatômicas. Do manipulável visível para o manipulável invisível! Do sólido para o efêmero, leve, fluido e descartável. Essas transformações radicais decorrentes dos avanços científicos e tecnológicos trouxeram novos valores e novos hábitos. O nosso olhar mudou profundamente; vivemos imersos em um outro universo de possibilidades.

A fluidez e o efêmero marcam a nossa era. Nada deve ser para sempre, tudo pode e deve ser descartável.⁴ Estamos sempre a desejar e esperar a última conquista, a novidade tecnoló-

3 A física atômica surge em 1900 com Niels Bohr.

4 Tudo que é sólido se desmancha no ar, como anteviu K. Marx em *O Manifesto do Partido Comunista*.

gica, o produto mais novo, mais leve e compacto. E, nesse caso, o tamanho é, sim, documento. Quanto menor, melhor. Adquirimos outra noção de espacialidade e, nessa lógica da competição entre novos e velhos produtos, desenvolvemos a cultura do descarte e, em consequência, o acúmulo de um lixo altamente poluidor e perigoso pode ser visto como um dos símbolos da modernidade. A ideia de descarte faz parte dos valores modernos e, assim, vamos produzindo cada vez mais descartes, classificados como lixo e poluindo o planeta, inclusive sua órbita, com lixos espaciais – os chamados detritos espaciais. Essa efemeridade das coisas tem tido um preço muito alto para a nossa casa, a Terra.

Algumas questões se colocam de imediato: quais os riscos decorrentes desses avanços e conquistas? Quanto vale a vida humana hoje? E a preservação ambiental? Quais os limites impostos frente a essas novas descobertas? Não há limites? Estamos sufocando o planeta de lixos de toda espécie, alguns de desconhecida forma de reciclagem e perigosamente muito poluentes e tóxicos. O que nos aguarda no futuro? Estamos contabilizando esses novos riscos?

O filme *Viagem Insólita*, lançado em 1987 nos Estados Unidos, tem como tema a possibilidade de uma viagem pelo corpo humano a partir de um submarino, encolhido ao tamanho molecular com seus tripulantes para ser inserido no corpo de um coelho vivo, mas acaba, por alguns contratemplos, sendo injetado no corpo de uma pessoa, no caso o hipocondríaco Jack Putter. É um desafio e uma aventura incrível. De 1987 para cá, muitas coisas deixaram o campo da ficção, embora não seja o caso, ainda, do filme mencionado. Mas hoje, graças aos avanços no campo das nanotecnologias, temos drogas capazes de proezas incríveis e de “viagens” similares à do submarino do filme, sem colocar em risco sua tripulação. Realmente, essas drogas podem viajar pelo corpo humano até atingirem seus alvos, são muito eficazes e pouco invasivas, em especial no tratamento de alguns tipos de câncer.

Nossos aparelhos eletroeletrônicos, armas, medicamentos e instrumentos são muito mais potentes e trabalham com as menores partículas, partículas invisíveis para os olhos

humanos e até para as lentes de alguns dos mais avançados microscópios: simplesmente invisíveis, mas manipuláveis. Abandonamos o gigantismo pelo nanismo. Do pesado e duradouro para o leve, efêmero e fluido. 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 se chega à escala nanométrica da matéria, as propriedades passam a ser diferentes. Tudo parece ser possível nesse mundo novo de escalas nanométricas.

A arte a seguir, intitulada “Evolução”⁵, trabalha exatamente com esse novo conceito, ou seja, do grandioso para o invisível, pois nosso desenvolvimento científico e tecnológico caminhou do grandioso para o invisível. O que pensaria disso Jonathan Swift? Os grandes e pesados dinossauros, que marcaram um longo período de vida de nosso planeta, hoje extintos, são menos ameaçadores que uma gama de vírus e bactérias que povoam a Terra e que já dizimaram e continuam dizimando populações humanas. Estamos, no momento, frente a uma dessas ameaças, o novo coronavírus, causador da Covid-19. A invisibilidade é uma arma poderosa.



“Evolução”, de Maíra Magno.

5 Obra criada pela artista plástica Maíra Magno. Ano de exposição: 2009. Autorizada a reprodução pela autora.

Os desafios a enfrentar

Sempre que trato dos desafios que os avanços e conquistas no campo científico nos colocam, me vem à memória o cogumelo maligno das bombas atômicas lançadas pelos Estados Unidos sobre Hiroshima e Nagasaki, com a pergunta: o fim justifica os meios? Sou da geração que cresceu com essa imagem apavorante como uma ameaça real e constante. Mas o mundo mudou muito em termos de conquistas no campo científico e tecnológico desde então. Hoje, aquelas duas bombas já são obsoletas frente à nossa capacidade de destruição do planeta. Uma guerra atômica só teria perdedores e um planeta fantasma.⁶ Diante dessa realidade, muitos analistas e pensadores consideram a guerra atômica uma utopia. A ameaça desapareceu?

Há, de certo, novos riscos diante dessas novas conquistas no campo técnico e científico, mas parece que só alardeamos os possíveis benefícios. Ulrich Beck, em *Metamorfose do Mundo: novos conceitos para uma nova realidade* (2018), estuda os novos riscos desses novos tempos e os desafios colocados para as populações, inclusive em termos de governança e políticas a serem desenvolvidas. Na parte III da obra, o autor é bem claro ao apresentar um título provocativo – *Gerações de risco global: unidas no destino*.

As nanotecnologias – apontadas como uma nova revolução científica, capaz de resolver inúmeros problemas das sociedades modernas, como os relativos ao meio ambiente, à saúde, à alimentação, à genética e à modernização dos artefatos de guerra, entre outros – parecem se situar para muitos nesse limiar. O que se tem anunciado em termos da abrangência de campos para o emprego das nanotecnologias pode levar as pessoas a acreditarem que todos os problemas acima listados poderão vir a ser resolvidos como em um passe de mágica e sem perigo.

Devemos estar atentos em relação às promessas que colocam as nanotecnologias como capazes de, por si só, solucionar a maioria dos problemas do mundo, em especial os rela-

6 O poder de destruição desses novos artefatos é absurdo. É o caso da bomba H, com um poder de destruição mil vezes maior do que o da bomba atômica.

cionados com alimentação, energia, água potável, lixo e saúde. Devemos estar atentos também aos possíveis efeitos que essas conquistas teriam nos países pobres e na distribuição da riqueza. Como a ciência e a tecnologia dependem muito de investimentos financeiros para seu desenvolvimento, é preciso levar em conta que há uma interdependência entre tecnologia e sociedade, bem como uma estreita relação entre a produção de conhecimento, as novas tecnologias e o mercado.

A possibilidade de um mundo novo surge com a promessa dos que investem nessa área do conhecimento, bem como com o discurso de muitos pesquisadores que têm suas pesquisas e laboratórios financiados por empresas privadas, em geral multinacionais. Frente às inúmeras controvérsias que se apresentam sobre as consequências positivas e negativas para a saúde humana e o meio ambiente decorrentes do emprego de produtos contendo nanotecnologia, e ao poder de persuasão do mercado via propaganda, é preciso cautela: ainda inexistente uma legislação adequada a essa nova tecnologia; e a que existe é obsoleta, pois se refere ao micro, mas não ao nano, e as propriedades da matéria podem se alterar nesse nível. Um componente não tóxico pode se tornar altamente tóxico no nível nano.

O futuro é agora?

As nanotecnologias estão em processo crescente de instalação nas pesquisas científicas, na produção industrial e na disponibilização de produtos no mercado consumidor. Frente a esse amplo leque de possibilidades de emprego, do ponto de vista do mercado, apresenta-se como um investimento seguro e rentável. Os produtos resultantes dessa nova tecnologia já estão no mercado, em nossa casa e em nosso corpo: de cosméticos a alimentos, de produtos de limpeza a fármacos, de novos produtos para a área da construção civil a fertilizantes e pesticidas, além de armas de destruição em massa, trazendo um novo cenário à indústria da guerra.

A gama de possibilidades de emprego das nanotecnologias é extensa e só tende a aumentar, mas os consumidores ignoram os dois lados da moeda. Exatamente por isso é pre-

ciso discutir as questões éticas e legais que devem regular o uso das nanotecnologias, pois não há certezas quanto às consequências que possam ter não só para a saúde das pessoas e o meio ambiente, mas para a vida futura das pessoas e dos trabalhadores. O emprego das nanotecnologias pode alterar as relações de trabalho? A geração de empregos? Diante de tantas incertezas, cabe a pergunta: o que será considerado trabalho no futuro?

Outro ponto a ser destacado nesse cenário de inseguranças diz respeito à questão regulatória, que ainda está em aberto. Para que possamos ter um marco regulatório que dê segurança ao consumidor e ao trabalhador, as maravilhas da tecnociência nanotecnológica precisam ser mais bem analisadas, especialmente para que se conheça mais sobre os seus múltiplos e potenciais efeitos toxicológicos. Por isso, concordamos com a afirmação feita pelo sociólogo Paulo Roberto Martins, fundador e coordenador da Renanosoma, de que essa tecnologia não está – nem deve estar – acima das críticas sobre os perigos que, junto com os benefícios, ela pode trazer.

Cabe levantar mais algumas questões para reflexão: será a nanotecnologia capaz de resolver todas as demandas apresentadas? A que custos? Quem poderá desfrutar dos benefícios trazidos por essa chamada revolução tecnológica? Como conciliar os interesses do mercado, que investe cada vez mais no avanço técnico e científico, com os interesses sociais, em especial das populações mais pobres? Quais os impactos que podem advir dessa nova tecnologia? Estamos preparados para enfrentá-los? O que virá em seguida? O fato é que o emprego das nanotecnologias já é uma realidade e estamos consumindo produtos com elementos nanotecnológicos. Por isso, é preciso que a sociedade tenha plena consciência do que é essa nova tecnologia, seus benefícios e possíveis impactos na vida social.

Outra questão que circunda a nossa discussão diz respeito aos possíveis efeitos que essa tecnologia pode ter nos países pobres e na distribuição da riqueza. Quem está ficando com o bônus e quem está arcando com o ônus? Devemos ter em mente que a relação entre ciência, tecnologia e mercado é cada vez mais forte, como bem enfatizado por Edgar Mo-

rin. É preciso considerar que “a ciência não é apenas científica. A sua realidade é multidimensional” (MORIN, 2005) e seus efeitos são profundamente ambivalentes. Para Morin, como a ciência é intrínseca, histórica, sociológica e eticamente complexa, ela não pode ser interpretada por um pensamento simples; ela requer um pensamento complexo e um diálogo constante entre as fronteiras do saber e entre os diversos atores direta ou indiretamente envolvidos no processo.

O desenvolvimento da nanotecnologia prende-se a essa lógica conceitual, pois não se restringe somente a cientistas e tecnólogos; é um processo negociado, ou melhor, pactuado com outros atores, como empresários, consumidores, sindicalistas, trabalhadores, gestores públicos e ambientalistas, em uma longa série de sucessivas aproximações dos interesses envolvidos. Não devemos nos esquecer de que os processos de pesquisa científica e de inovação tecnológica sempre foram alvo de um conflito de interesses políticos, pois a ciência, como produto humano, não é neutra e estará dirigida aos interesses dos que investem em sua produção e desenvolvimento.

Em *Nanotecnologias e Mercantilização da Vida Humana: tecnociências, eugenias e biopolíticas*, Diego Calazans (2017) analisa a relação entre as conquistas no campo das nanotecnologias e o processo de mercantilização da vida humana. O autor associa historicamente esse processo à implementação de medidas eugênicas pelos Estados nacionais do fim do século XIX a meados do século XX, chamando atenção para o surgimento de uma eugenia de mercado, com a redução do papel dos Estados nacionais nos processos decisórios macroeconômicos, na segunda metade do século XX.

A questão dos riscos

A questão dos riscos deve estar presente nas pautas de discussão sobre o emprego das nanotecnologias, ao lado dos possíveis benefícios, ou seja: o que há de desconhecido por trás das maravilhas anunciadas? 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, como alerta Calazans (2017) em seu estudo, pois, 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. Sempre há uma questão pendente quando o tema se volta para as conquistas resultantes da inovação científica e tecnológica e a possibilidade de ampliar a oferta de produtos no mercado.

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 reformulados em escalas operadas até, digamos, 100 nm. 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. Na escala nanométrica, os materiais começam a exibir propriedades únicas que afetam seus comportamentos físicos, químicos, biológicos e, conseqüentemente, toxicológicos.

Como esclarecem as pesquisadoras da Fundacentro (AR-CURI; VIEGAS; PINTO, 2014), “conhecer as características das substâncias em tamanho maior não fornece informações compreensíveis sobre suas propriedades no nível nano”, de tal sorte que “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 por via respiratória”.

Apesar das incertezas quanto aos potenciais danos que as nanotecnologias possam acarretar à saúde humana e ao meio ambiente⁷, já pode ser comprovada sua variada aplica-

7 Uma pesquisa divulgada em 2014 analisou publicações sobre os efeitos de diversos nanomateriais na saúde humana ou pontos finais biológicos em animais ou culturas de células. Constatou que o número de estudos sobre a segurança das nanotecnologias aumentou quase exponencialmente nos últimos quinze anos. Foram encontrados apenas cerca de duzentos documentos sobre esse tema antes do ano 2000, mas esse número subiu para mais de dez mil desde 2001 até o início de 2014. A maioria dos estudos, no entanto, não oferecia qualquer tipo de indicação clara sobre a segurança dos nanomateriais. Ao contrário, a maioria deles eram autocontraditórios ou chegavam a conclusões completamente equivocadas (KRUG, 2014).

ção, seja na área de fármacos para o tratamento de inúmeras doenças, com destaque para alguns tipos de câncer, seja em outras áreas, como produção de alimentos, construção civil, fabricação de filtros para a despoluição de rios, mares e oceanos, dessalinização das águas, mecatrônica, indústria da guerra etc. Essa vasta gama de aplicações poderá aumentar ainda mais dentro de poucos anos, o que não pode ser ignorado.

A urgência do abraço a essas inovações não deve anular o senso de prudência que norteia o contato humano com novidades potencialmente danosas (ENGELMANN *et al.*, 2010). Ao mesmo tempo que há estudos apontando para os benefícios potenciais da nanotecnologia, outros ressaltam riscos que não podem ser ignorados. A cautela, nesse caso, é claramente necessária. Essa cautela não necessariamente imobiliza, como criticam os que defendem a urgência sobre a prudência em sociedades capitalistas em competição acirrada. A cautela apenas exige que se enxergue bem o chão em que se pisa.

Como exemplo da necessidade que temos de uma regulação dos produtos com nanotecnologia, podemos citar a variedade de nanomateriais utilizados em alimentos. A nanoprata, por exemplo, é muito utilizada por seu efeito antibacteriano. Produtos com nanoprata já estão no mercado: são alimentos, embalagens, utensílios de cozinha e refrigeradores. Contudo, há controvérsias quanto ao uso da nanoprata por seus possíveis efeitos nocivos à saúde humana.

Embora não possamos afirmar com certeza se existe perigo no consumo de nanoprodutos, estes estão sendo desenvolvidos e colocados à venda no mercado sem que se possa garantir a isenção de risco à saúde e ao meio ambiente. E, existindo riscos, não se pode garantir se seriam controlados de alguma forma.

De volta a Lilipute: considerações finais

O universo nanotecnológico, por mais paradoxal que pareça, nos conduz de volta a Lilipute, mas agora em outras dimensões e com muitas incertezas. Não somos mais naufragos perdidos em uma ilha desconhecida, o gigantismo não mais

representa a nossa realidade, a nossa força está nas últimas conquistas da ciência e da tecnologia moderna, e estas são representadas pelo universo das nanopartículas. De gigantes presunçosos de sua força e grandeza, um alvo fácil de ser visto e destruído, passamos para a invisibilidade do mundo das nanopartículas, átomos e subpartículas atômicas. Em outra proeza ficcional, conseguimos finalmente a capa da invisibilidade!⁸ E essa é uma faca de dois gumes: somos invisíveis em um mundo de invisibilidades; portanto, o rei acabou nu.

Há quem aponte que será graças à nanotecnologia que a robótica deixará de produzir robôs limitados a atos repetitivos, previstos na programação original, e passará a desenvolver andróides capazes de processar as informações do ambiente de modo a adaptarem seu comportamento, indo além de sua programação básica – o que também possibilita que robôs com autonomia aumentada saltem das casas das pessoas para dentro de seus corpos. Eis-nos frente aos desafios da película *Viagem Insólita*. Nós ainda somos humanos? Seremos pós-humanos? Haverá ainda sentido em falar de humanidade? Quando deixamos de ser verdadeiramente humanos? O que o futuro nos reserva? Retornamos a Lilipute?

REFERÊNCIAS

- ARCURI, Arline S. A.; VIEGAS, Maria de Fátima T. F.; PINTO, Valéria R. S. Nanotecnologia na cadeia do alimento. *In*: SILVA, T. E. S.; WAISSMANN, W. (orgs.). **Nanotecnologias, Alimentação e Biocombustíveis: um olhar transdisciplinar**. Araçaju: Criação, 2014.
- BECK, Ulrich. **A Metamorfose do Mundo: novos conceitos para uma nova realidade**. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. 1. ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2018.

8 A capa da invisibilidade é uma fantasia criada pela mente humana, mas somos cercados por seres invisíveis a olho nu, que fazem parte de nosso ecossistema. Não raro são seres mutantes e que podem nos matar por nossa fragilidade e vulnerabilidade, quando migram para o ecossistema humano. Sim, falo dos vírus e, atualmente, enfrentamos uma difícil batalha nesse campo com a Covid-19.

CALAZANS, Diego Rodrigues Souto. **Nanotecnologias e Mercantilização da Vida Humana: tecnociências, eugenias e biopolíticas**. Novas Edições Acadêmicas, 2017.

ENGELMANN, W. *et al.* **Nanotecnologias, Marcos Regulatórios e Direito Ambiental**. Curitiba: Honoris Causa, 2010.

KRUG, Harald F. Nanosafety Research – Are we on the right track? **Angewandte Chemie International Edition**, v. 53, p. 12304-12319, 2014.

MORIN, Edgar. **O Método 6 – Ética**. 2. ed. Porto Alegre: Sulina, 2005.

NANOPESTICIDAS: INTRODUCCIÓN A LOS PRODUCTOS ENCAPSULADOS Y MARCOS PARA EVALUAR SUS RIESGOS PARA LA SALUD AMBIENTAL Y HUMANA

*Steve Suppan*¹

Las ventajas comerciales y técnicas de nano-encapsular los Ingredientes Activos (IAs) de pesticidas convencionales

La aplicación de la ciencia para desarrollar productos tecnológicos contempla, si no el mercado preciso para el producto, por lo menos el contexto económico para justificar la inversión en los experimentos que pueden resultar en un producto y/o una técnica, a lo mejor patentizado. En el caso de las pesticidas capacitadas por nanotecnología (nano-pesticidas), los autores de un artículo reciente explican el contexto económico de su experimento, el que compara la toxicidad ambiental de un ingrediente activo (IA) de una pesticida con la toxicidad del mismo IA encapsulado con nano-materias (NMs). Debido al gasto y el tiempo para innovar un IA nuevo: reformulación de pesticidas con los IA existentes es una práctica muy común en la industria de pesticidas. [...] Entre las formulaciones innovadoras disponibles en el mercado, las pesticidas encapsuladas ofrecen varios rasgos deseables, los que incluyen exposición humana reducida al IA, difusión controlada, residuos más duraderos de la pesticida, eliminación de los solventes orgánicos y mayor eficacia (SLATTERY; HARPER; SLATTERY, 2019).

Se puede aplicar la nanotecnología para extender el monopolio comercial de un IA con un patente para las NMs y las

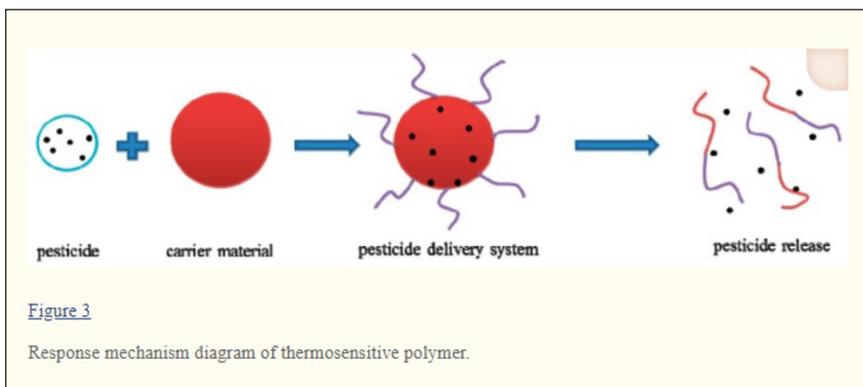
¹ Analista de políticas no Institute for Agriculture & Trade Policy (IATP) desde 1994. Estudou filosofia na Universidade de Viena. Ph.D. em literatura comparada. E-mail: ssuppan@iatp.org.

técnicas del nano-encapsulamiento. Si la pesticida encapsulada logra a realizar en los campos agrícolas los rasgos deseables realizados en el laboratorio depende no sólo en el cuidado de aplicación de la nano-pesticida, sino también en el marco jurídico reglamentario el que rige el uso o mal uso de las pesticidas, sean nano-capacitados o no. Hay muchas aplicaciones de NMs a las pesticidas, incluso el empleo de NMs mismas como nano-plata en el producto NanoSilva® (Center for Food Safety, 2017). Y no consideramos aquí, debido a su complejidad científica, la nano-pesticida probablemente con más riesgos a la salud humana y ambiental, RNA interferón portado por un nano-biocompuesto de arcillas y polímero (FRIENDS OF THE EARTH, 2020).

Por ejemplo, desde hace por lo menos 30 años, la implementación de la ley fundamental estadounidense para registrar pesticidas, FIFRA (Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act) se ha criticado por la casi imposibilidad de que la Agencia de Protección Ambiental (EPA en sus siglas inglesas) proteja a los jornaleros, al ambiente y/o a los insectos beneficiosos (GASIOR, 1989). La industria de pesticidas argumentó con éxito que la definición reglamentaria del área topográfica de “dispersión” (drift) de pesticidas consta solo del área no intencionada por el aplicador de la pesticida, sea nano capacitada o no.² El aplicador tiene responsabilidad jurídica sólo para el área intencionada de aplicación.

Se ha reconocido que la evaluación de riesgos de NMs precisa un ajuste fundamental debido a las propiedades distintas de las NMs en sus condiciones “prístinas,” en sus compuestos y en sus interacciones con los medios humanos (p.ej. órganos) y ambientales (p. ej. agua) a lo largo de sus ciclos de vidas (KOOKANA *et al.*, 2014). Sin embargo, no hay un acuerdo sobre las métricas reglamentarias de tal ajuste. Mientras tanto, las nano-pesticidas y otros nano-productos siguen entrando en el mercado (CENTER FOR FOOD SAFETY, 2018). Aquí abordamos la aplicación más sencilla de NMs a las pesticidas, ilustrada así (HUANG *et al.*, 2018):

2 <https://pesticidestewardship.org/pesticide-drift>



En esta figura esquematizada, el IA más los ingredientes “inertes” están agregados al nanocompuesto (encapsulado o incrustado). Los “inertes,” tóxicos o no, se agregan para estabilizar el IA, extender su vida comercial (“shelf life”) y por otras razones (NATIONAL PESTICIDE INFORMATION CENTER, 2011). El nanocompuesto deja difundir la nano-pesticida en respuesta a una señal ambiental, p.ej. temperatura, pH del suelo o agua en las hojas de la planta.

Metodología general para evaluar riesgos que no impide la innovación tecnológica (y las ventas)

A lo largo de los 15 últimos años, los evaluadores de riesgos de las NMs a la salud humana y ambiental han procurado elaborar una metodología para estimar y presagiar la toxicidad de las NMs del uso más frecuente en el comercio y reducir el uso de la evaluación de riesgos fundada en los experimentos *in vivo*. Dado el aumento en la fabricación de NMs, los recortes a los presupuestos reglamentarios, y la presión de inversionistas y de los empresarios/científicos para comercializar los nano-productos, la gran mayoría de las pruebas para evaluar riesgos tienen lugar *in vitro* (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2016). Las materias de prueba en el laboratorio son células, en vez de animales.

Los asesores de riesgos han luchado para que los resultados experimentales se reporten en formatos estandariza-

dos para facilitar su conversión en bases de datos *in silico* (nano-informática) capaz de comparar y agrupar los datos de una NM a otra parecida en sus características químico-físicas. Los asesores de riesgo deben poder leer a través los bases de datos (“read across”) para presagiar los riesgos de una NM determinada sin tener que gastar tiempo y dinero en un experimento *in vitro* o *in vivo*. Dentro de las investigaciones para nano-inocuidad, los bases de datos se deben emplear en experimentos de modulación informatizada los que prevén los efectos de modificar NMs para propósitos o productos determinados desde su fabricación hasta su reciclaje (SAVOLAINEN *et al.*, 2013).

Generalmente, hay un consenso científico que las NMs orgánicas (p. ej. arcillas, lípidos, chitosan) ‘prístinas’ (ya no incorporado en un compuesto, insumo o producto) ofrecen el menor grado y variedad de riesgos. Nano-metales, nano-metales óxidos (p. ej. titanio dióxido) y nanotubos de carbón generalmente presentan los mayores riesgos entre la fabricación de productos con NMs intencionadas como ‘safe by design’ (BOUILLARD *et al.*, 2013). La nano-informática debe ayudar en el diseño de los nano-productos ‘innocuos por diseño’ y hasta en el diseño de las NMs mismas para minimizar sus riesgos.

Retos reglamentarios que impiden la evaluación de riesgos de nano-pesticidas

En el asesoramiento de riesgos para pesticidas convencionales hay cuatro etapas (KOOKANA *et al.*, 2014). En la primera etapa, se mide la toxicidad acuática de la pesticida a una dafnia o pez parecida según un protocolo estandarizado. En la segunda etapa, se modifica la exposición a la pesticida según una modulación tóxico-cinética para estimar la toxicidad de la pesticida a otras especies sensibles. Estimar los impactos de la pesticida de largo plazo a las plantas y microorganismos del suelo en un mesocosmo (un invernadero científico) constituye una terca etapa. Para las nano-pesticidas, hay muy pocos estudios de este tipo (CARLEY *et al.*, 2020).

Casi o nunca se llega a la cuarta etapa, impactos caracterizados según observaciones en el campo, en parte por la dificultad para establecer controles de rigor científico cuando hay tantos factores para controlar en el campo abierto. Sin embargo, hay otra traba en evaluar los riesgos de pesticidas en el campo abierto. En las reglas estadounidenses, un estudio de impactos en el campo está impedido por la definición de lo que constituye legalmente la “difusión” (drift) de las pesticidas.

Según la interpretación por la industria³ a los consejos del EPA (Environmental Protection Agency), la “difusión” consta sólo de la parte de una aplicación intencionada para una cosecha que no llega a su meta. La “difusión” no intencionada puede afectar nocivamente a otras cosechas, animales agrícolas o no, plantas y árboles no agrícolas, insectos beneficios, y personas humanas (“off-target effects”). Evaluar riesgos solo en cuanto a los impactos en el campo intencionado de aplicación no da ni un incentivo jurídico para prevenir la toxicidad y otros impactos nocivos no intencionados ni un incentivo para estudiar tales impactos.

El caso de dicamba, una pesticida fabricada por Bayer/Monsanto para aplicación a sus semillas genéticamente modificadas de soya y algodón para resistir la toxicidad de dicamba, puede tener precedentes jurídicos tanto como agronómicos para las nano-pesticidas. La prohibición de dicamba por una tribuna estadounidense (CENTER FOR FOOD SAFETY, 2020) estará apelado con casi toda certidumbre, no solo por las pérdidas de ventas de la pesticida, sino por la precedente jurídico la que se podría aplicar en el caso de las nano-pesticidas previstas para suceder a esta generación de las pesticidas. Hay decenas de litigios colectivos (“class action lawsuits”) contra Bayer/Monsanto por daños a las cosechas no genéticamente modificadas de por lo menos 3.6 millones de acres (1.65 millones de hectáreas), debido a la dispersión no intencionada pero inevitable, dada la alta volatilidad bien conocida de dicamba (SHAAK, 2020). Hasta la fecha, la empresa ha perdido todos los casos litigados (GILLAM, 2020; USRTK, [2020]).

3 <https://pesticidestewardship.org/pesticide-drift/>

Supongamos que no haya semillas genéticamente modificadas para resistir el IA de una nano-pesticida. Aun así, si los riesgos de una nano-pesticida no están evaluados con rigor científico antes de comercializarse, podría repetirse lo que pasó en el caso de dicamba: EPA la otorgó el permiso para comercializarse contra el asesoramiento del comité científico para pesticidas (HETTINGER, 2020). Si un gobierno permite que la formulación de una pesticida con amplios impactos no intencionados quede como Información Empresarial Confidencial, la salud humana y ambiental están subordinados a los intereses económicos de los fabricantes y usuarios de la pesticida.

No se han publicado los resultados de pruebas de nano-pesticidas en los campos para conocer la amplitud ni los impactos de su “drift” en condiciones metrológicas distintas. Antes de comercializar cualquier nano-pesticida, la publicación de tales pruebas debería ser un requisito para empezar la cuarta etapa de la evaluación de riesgos, tanto a la salud humana (los y las jornaleros, sobre todo) como a la salud ambiental.

REFERENCIAS

- BOUILLARD, J. *et al.* Nanosafe by design: risks from nano-composite, nano-waste combustion. **Journal of Nanoparticle Research**, 15 feb. 2013. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235941056_Nanosafety_by_design_Risks_from_nanocompositenanowaste_combustion.
- CARLEY, L. *et al.* Long-Term Effects of Copper Nanopesticides on Soil and Sediment Community Diversity in Two Outdoor Mesocosm Experiments. **Environ. Sci. Technol**, v. 54, n. 14, p. 8878-8889, 2020. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c00510>.
- CENTER FOR FOOD SAFETY. Court Strikes Down Federal Approval of New Nanotech Pesticide. **Center for Food Safety**, 30 mayo 2017. Disponible en: <https://www.centerforfoodsafety.org/press-releases/4972/court-strikes-down-federal-approval-of-new-nanotech-pesticide>.

- CENTER FOR FOOD SAFETY. Federal Court Holds Dicamba Pesticide Unlawful, Citing Unprecedented Drift Damage to Millions of Acres. **Center for Food Safety**, 3 jun. 2020. Disponible en: <https://biologicaldiversity.org/w/news/press-releases/federal-court-holds-dicamba-pesticide-unlawful-citing-unprecedented-drift-damage-millions-acres-2020-06-03/>.
- CENTER FOR FOOD SAFETY. Nanotechnology in Food Interactive Tool. **Center for Food Safety**, 2018. Disponible en: <https://www.centerforfoodsafety.org/nanotechnology-in-food>.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Process for Implementing and Evaluating Alternative Approaches to In Vivo Acute Toxicity Studies for FIFRA Regulatory Use. **Environmental Protection Agency**, Washington, 2 feb. 2016. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/final_alternative_test_method_guidance_2-4-16.pdf.
- FRIENDS OF THE EARTH. Gene-Silencing Pesticide Poses New Risks to Health, Environment and Farmers. **Friends of the Earth**, 6 oct. 2020. Disponible en: <https://foe.org/news/gene-silencing-pesticides-pose-new-risks-to-health-environment-and-farmers/>.
- GASIOR, John Casior. Pesticide Safety Regulation Under the Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act: Debaacle at the EPA. **Fordham Environmental Law Review**, v. 1, n. 1, 1989. Disponible en: <https://ir.lawnet.fordham.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1483&context=elr>.
- GILLAM, Carey. Bayer's Monsanto headache persists. **U. S. Right to Know**, 1 oct. 2020. <https://usrtk.org/monsanto-roundup-trial-tracker/bayers-monsanto-headache-persists-settlements-not-going-smoothly/>.
- HETTINGER, Jonathan. Lawsuit Alleges EPA ignored its own scientists' recommendations on dicamba. **St. Louis Post Dispatch**, April 16, 2020.
- HUANG, B. *et al.* Advances in Targeted Pesticides with Environmentally Responsive Controlled Release by Nanotechnol-

ogy. **Nanomaterials**, feb. 2018. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29439498/>.

KOOKANA, Rai S. *et al.* Nanopesticides: Guiding Principles for Regulatory Evaluation of Environmental Risks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 4227-4240, 2014. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/jf500232f>.

NATIONAL PESTICIDE INFORMATION CENTER. Inert or “Other” Pesticide Ingredients. **National Pesticide Information Center**, mayo 2011. Disponible en: <http://npic.orst.edu/factsheets/inerts.html>.

SAVOLAINEN, K. *et al.* **Nanosafety in Europe 2015-2015**: Towards Safe and Sustainable Nanomaterials and Nanotechnology Innovations. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health, 2013. Disponible en: <https://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report159.pdf>.

SHAAK, Erin. Monsanto, BASF Hit with Multiple Class Actions Over Crop Damage Allegedly Linked to Dicamba Herbicides. **ClassAction.org**. 28 mayo 2020. Disponible en: <https://www.classaction.org/news/monsanto-basf-hit-with-class-actions-over-crop-damage-allegedly-linked-to-dicamba-herbicides>.

SLATTERY, Matthew; HARPER, Bryan; SLATTERY, Stacy. Pesticide Encapsulation at the Nanoscale Drives Changes to the Hydrophobic Partitioning and Toxicity of an Active Ingredient. **Nanomaterials**, v. 9, n. 1, p. 81, 2019. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-4991/9/1/81/htm>.

U. S. RIGHT TO KNOW (USRTK). The Dicamba Papers: Key Documents and Analysis. **U. S. Right to Know, [2020]**. Disponible en: <https://usrtk.org/pesticides/dicamba-papers/>.

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS EM SAÚDE: AS NANOTECNOLOGIAS E SUAS POSSIBILIDADES

Jorge M. Pontes¹

Quando nos referimos às inovações tecnológicas, abrimos um vasto campo de pesquisa que vai desde uma forma diferente de ver as horas ou assistir TV até uma nova forma de tratamento e diagnóstico de doenças ou de combate a pandemias. Neste artigo, escolhi delimitar minhas colocações às inovações propiciadas pelas nanotecnologias no enfrentamento da pandemia de Covid-19, focando em instrumentos de diagnóstico, desenvolvimento de vacinas e desinfecção de ambientes e superfícies.

Contudo, não podemos esquecer que, mesmo antes da pandemia, as nanotecnologias vinham sendo estudadas e aplicadas de diferentes formas, e que governos e instituições de pesquisa procuravam ainda entender os seus impactos nos seres humanos e no meio ambiente. Um exemplo dessa busca por compreensão foi o projeto NanoReg da União Europeia, que, com suas pesquisas compartilhadas, visava ao desenvolvimento de políticas públicas regulatórias para a utilização de nanotecnologias pelos países membros.

Lembramos ainda que o Brasil não tem uma regulação específica para o desenvolvimento e uso de nanotecnologias, ficando a cargo de agências governamentais (Anvisa) a sua oportuna fiscalização. Para não cometer injustiças, resalto que, entre 2012 e 2015, o país teve algumas iniciativas governamentais, como um Comitê Interministerial de Nanotecnolo-

¹ Professor, doutorando em ciências (USP), com mestrado em políticas públicas, especialização em gestão pública e licenciatura em filosofia. E-mail: jorge.pontes@usp.br.

gia e o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano), instituído em 2013.

Inovações no diagnóstico, prevenção e tratamento

Desde o surgimento da nova Síndrome Respiratória Aguda Grave provocada pelo coronavírus 2 (Sars-CoV-2), causa da pandemia que assola o planeta desde dezembro de 2019 (Covid-19), constatamos que o vírus se dissemina em um processo de transmissão entre seres humanos, geralmente, a uma taxa superior a três pessoas por pessoa infectada confirmada. Aparentemente, nenhum método de prevenção até agora disponível consegue inibir essa dispersão de forma eficaz. Nesse contexto, as medidas preventivas mais decisivas ainda são as epidemiológicas de distanciamento social, isolamento e hábitos de higiene.

Os procedimentos de diagnóstico adotados baseiam-se, especificamente, no início dos sintomas, coleta de amostra e medidas de controle de infecção na primeira etapa, seguindo-se a coleta e transporte da amostra para os laboratórios, testando-as e até sequenciando as amostras em alguns casos. No intuito de melhorar a qualidade da prevenção e a precisão dos diagnósticos, cientistas buscam soluções criativas através de pesquisas que apontam a presença do vírus no ar e determinam o tamanho da partícula viral e a morfologia da superfície do vírus. Assim, com base em estudos recentes, o diâmetro do vírus Sars-CoV-2 foi estipulado entre 60 e 140 nm, o que inclui seu material genético, bem como as espículas de proteína na sua superfície (RABIEE *et al.*, 2020).

Diagnóstico

O diagnóstico inicial do vírus foi feito na cidade de Wuhan (China), utilizando-se Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET), e revelou que o diâmetro do vírus era de, aproximadamente, 140 nm. Existem três proteínas estruturais na superfície do Sars-CoV-2, incluindo a proteína de envelopamento

(E), a glicoproteína de superfície da espícula (S) e a proteína da matriz (M). A proteína S é mais acessível do que as outras devido às estruturas químicas externas e aos meios disponíveis para acessá-las. Com base nas descobertas mais recentes, a proteína S é responsável por mais de 80% da interação do vírus com a membrana celular e é também responsável por infectar as células por meio de mecanismos de ligação ao receptor. Consequentemente, uma solução inteligente para prevenção, diagnóstico precoce ou mesmo tratamento teria que ser direcionada a essa proteína por meio de abordagens químicas, físicas ou biológicas (RABIEE *et al.*, 2020).

O padrão ouro para diagnóstico da Covid-19 baseia-se na síntese do DNA (cDNA)² a partir de RNA genômico (RNA do vírus) e é seguida de amplificação (RT-PCR). O problema que pode ser apontado é a baixa sensibilidade em varreduras no tórax em razão de uma menor presença do vírus no sangue.

Para superar essa dificuldade, alguns métodos têm sido pensados com o uso de Espalhamento Raman Aprimorado de Superfícies (SERS)³ ou Fluorescência Aprimorada por Quelação⁴ (CHEF). O material utilizado para esse tipo de investigação são os nanotubos de ouro e de zinco (quelato), o que proporciona visualizar, mesmo com uma menor quantidade de material, o vírus. Isso se constitui em uma inovação, não pelo processo, mas pelo material utilizado.

Desinfecção e inibição do vírus

Considerando as várias vias de exposição ao Sars-CoV-2 (tosse, gotículas respiratórias ou bio-fluidos), uma abordagem para o combate ao vírus é evitar sua disseminação por meios profiláticos através de uma desinfecção do ambiente

2 DNA complementar (cDNA) é o DNA sintetizado a partir de uma molécula de RNA mensageiro, cujos introns já foram removidos, ou seja, o mRNA já passou pelo processo de *splicing*, sendo uma reação catalisada pela enzima transcriptase reversa.

3 *Surface Enhanced Raman Scattering*.

4 Quelato é um composto químico formado por um íon metálico com várias ligações covalentes a um agente quelante, uma estrutura heterocíclica de compostos orgânicos, como aminoácidos, peptídeos ou polissacarídeos.

(do ar e das superfícies), medidas de higiene pessoal (limpeza das mãos e da pele) etc. Para esse fim, desinfetantes químicos (como cloro e álcool) – eficazes contra uma ampla variedade de patógenos – têm sido utilizados para desinfecção e esterilização de equipamentos de proteção individual e superfícies. Apesar dos resultados promissores dos desinfetantes químicos citados, eles são frequentemente associados a desvantagens, como requisitos de alta concentração para 100% de inibição viral, eficácia limitada ao longo do tempo e possíveis riscos para a saúde pública e o meio ambiente.

Avaliações preliminares mostraram que o revestimento com nanoagrupamentos⁵ de prata/compósitos de sílica em máscaras faciais foi eficaz contra o Sars-CoV-2. Como exemplos, enumeramos: NanoTechSurface (Itália) desenvolveu uma fórmula durável e autoesterilizante composta de dióxido de titânio e íons de prata para desinfetar superfícies; FN Nano Inc. (Estados Unidos) desenvolveu um revestimento fotocatalítico, à base de nanopartículas de dióxido de titânio, que pode decompor compostos orgânicos, incluindo vírus, na superfície por exposição à luz, danificando a membrana viral.

Os nanomateriais também podem ser incorporados às máscaras respiratórias para aumentar ainda mais seu efeito inibitório do vírus. Cientistas da Queensland University of Technology (Austrália) desenvolveram um cartucho de filtro respirável e descartável de nanofibras de celulose, capazes de filtrar partículas menores que 100 nanômetros (TALEBIAN *et al.*, 2020).

Devido às suas propriedades únicas e à capacidade de serem especificamente projetados, os nanomateriais são utilizados no desenvolvimento de vacinas contra a Covid-19: polímeros, híbrido de lipídio-polímeros, quitosana etc. têm sido usados com sucesso em vacinas para outros tipos de coronavírus, como Mers-CoV e Sars-CoV.

Um método abordado é a utilização de Partículas Seme-lhantes a Vírus (VLPs), e nanopartículas modificadas que se

5 Nanoclusters (NCs) de metal consistem de dezenas a centenas de átomos de metal com um diâmetro menor que 2 nm e têm atraído atenção significativa devido às suas propriedades, entre outras, de forte emissão de luminescência.

assemelham ao vírus em suas propriedades físico-químicas, mas que não possuem material genético nem capacidade de replicação. Para ser mais específico, uma das principais proteínas estruturais do coronavírus, a proteína S, pode ser incorporada às VLPs. Estas VLPs induzem respostas imunológicas adaptativas e inatas no corpo humano⁶. Esse método tem sido utilizado em vacinas contra o papilomavírus humano e o vírus da hepatite B (KUSUMOPUTRO *et al.*, 2020).

Impactos na saúde e no meio ambiente

Uma das primeiras vias de exposição dentro do ciclo de vida dos nanomateriais é a via respiratória. Para exemplificar o risco às células humanas, ressaltamos que poucos estudos investigaram os efeitos tóxicos potenciais de partículas micro e nanoplásticas em células pulmonares epiteliais humanas. Cientistas avaliaram os possíveis efeitos de nanopartículas de poliestireno (entre 25 nm e 70 nm) em células tumorais epiteliais alveolares humanas. Os resultados mostraram que essas nanopartículas podem afetar significativamente a viabilidade celular, ativar a transcrição de genes inflamatórios e alterar a expressão de proteínas associadas ao ciclo celular. Estudos revelaram, ainda, que os microplásticos de poliestireno podem causar efeitos inflamatórios e citotóxicos em células epiteliais de pulmão humano. No entanto, até o momento, não há estudos publicados de toxicidade pulmonar com base em condições ambientalmente relevantes ou em culturas de células pulmonares primárias *in vitro* (AMATO-LOURENÇO, 2020).

Outro fato para o qual chamamos atenção é que bactérias habitam o microbioma humano em todas as superfícies externas e internas do corpo, sendo que a maior parte da microbiota está localizada no trato gastrointestinal, pele e trato respiratório. Assim, as principais rotas de exposição humana a nanomateriais – inalação, ingestão, exposição dérmica e administração de nanomedicamentos – também representam

6 Apenas como curiosidade, o vetor da vacina de Oxford (University of Oxford, Inglaterra) é um adenovírus, vetor viral não replicante que codifica a proteína S de Sars-CoV-2.

vias de exposição a nanomateriais para as principais comunidades microbianas humanas. E é importante dizer que as bactérias que colonizam o corpo humano têm funções protetiva, metabólica, imunomoduladora e nutricional.

A microbiota humana é muito diversa; as espécies já identificadas pertencem a 22 filos conhecidos: os mais abundantes foram identificados como Proteobacteria, Firmicutes, Bacteroidetes e Actinobacteria. No entanto, a quantidade de bactérias dos principais filos bacterianos varia consideravelmente em diferentes locais do corpo humano, sugerindo que os efeitos dos nanomateriais na microbiota também podem diferir pela via de exposição (ZHANG; MORTIMER; GUO, 2020).

Tudo o que foi colocado também se aplica ao meio ambiente. Diferentes tipos de seres vivos, com diferentes características, podem apresentar variadas formas de reação aos nanomateriais. Dessa forma, faz-se urgente uma legislação que regule não apenas a fabricação e utilização de nanotecnologias, mas também o seu descarte no meio ambiente. E vale lembrar que o descarte do lixo hospitalar no Brasil ainda carece de fiscalização e estudos.

REFERÊNCIAS

- AMATO-LOURENÇO, Luís Fernando *et al.* An emerging class of air pollutants: Potential effects of microplastics to respiratory human health? **Science of The Total Environment**, p. 141-676, 2020.
- KUSUMOPUTRO, Sydney *et al.* Potential nanoparticle applications for prevention, diagnosis, and treatment of Covid-19. **View**, p. 105, 2020.
- RABIEE, Navid *et al.* Point-of-use rapid detection of sars-cov-2: Nanotechnology-enabled solutions for the Covid-19 pandemic. **International journal of molecular sciences**, v. 21, n. 14, p. 51-26, 2020.
- TALEBIAN, Sepehr *et al.* Nanotechnology-based disinfectants and sensors for SARS-CoV-2. **Nature nanotechnology**, v. 15, n. 8, p. 618-621, 2020.

ZHANG, Yirong; MORTIMER, Monika; GUO, Liang-Hong. Interplay between engineered nanomaterials and microbiota. **Environmental Science: Nano**, v. 7, n. 9, p. 2454-2485, 2020.

SÍNTESE

Paulo Roberto Martins¹

A professora e pesquisadora Tania Magno, membro da Renanosoma desde o seu início, em 2004, apresentou uma palestra no campo do conhecimento denominado de Estudos de Ciência, Tecnologia e Sociedade. Ela mostrou como se faz uma análise das relações entre ciência, tecnologia e sociedade, analisando as implicações das nanotecnologias em nossa sociedade, em especial suas invisibilidades.

Já Steve Suppan tratou das relações, nos Estados Unidos, entre o desenvolvimento de nanopesticidas, o universo da produção científica sobre o tema, as ações governamentais e os lobbies das indústrias privadas no intuito de instituir uma autorregulação para vários produtos nanotecnológicos, principalmente os nanopesticidas.

Jorge Pontes, por sua vez, apresentou suas reflexões sobre o tema “Inovação tecnológica em saúde: a nanotecnologia e suas possibilidades”, debruçando-se sobre as inovações propiciadas pelas nanotecnologias no enfrentamento da pandemia da Covid-19, como instrumentos de diagnóstico, desenvolvimento de vacinas e desinfecção de ambientes e superfícies.

O debatedor da mesa, Peter Schulz, professor da Faculdade de Ciências Aplicadas e também secretário de Comunicação da Unicamp, indagou se as questões apontadas por Tania sobre as nanotecnologias não seriam parte de um cenário

1 Sociólogo, mestre e doutor em Ciências Sociais, pesquisador aposentado do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), fundador e coordenador da Rede de Pesquisa em Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (Renanosoma), E-mail: marpaulo@uol.com.br.

mais amplo, que também ocorre com a biotecnologia, a inteligência artificial e outras tecnologias. Segundo Peter, quando se fala da necessidade de cautela, esta cautela seria sobre uma parte do desenvolvimento de tecnologias (no caso, as nanotecnologias) ou sobre o conjunto das tecnologias (nano, bio, IA, convergência tecnológica)? Tal cautela conseguiria ser efetivada neste contexto em que vivemos atualmente?

Para demonstrar seu entendimento de que se trata de um problema global, Peter comentou a questão dos pesticidas e agrotóxicos, que parecem ser um problema do atual governo do Brasil, como também dos Estados Unidos, onde esses produtos são liberados com a contribuição intensa do lobby da indústria, conforme a palestra de Steve. Ainda sobre a palestra de Steve, Peter destacou o tema da autorregulação, no campo das ciências exatas e naturais, das nanociências e do mercado. Na economia, uma espécie de darwinismo social seria justamente o sonho neoliberal da autorregulação.

Tania esclareceu que, devido ao tempo limitado da palestra, optou por tratar apenas das nanotecnologias, embora elas não sejam as únicas no processo de convergência tecnológica. Ela optou também por tratar da invisibilidade presente no mundo nano e na pandemia do novo coronavírus. Como as pessoas se comportam diante disso? Acredita-se naquilo que se vê e não naquilo que não se vê. Segundo Tania, para compreender a convergência tecnológica, é necessário olhá-la como um todo, sem fragmentá-la em partes. O que interessa ser discutido é como a sociedade capta esse conhecimento, como o utiliza, como o defende, e como ela se defende desse conhecimento.

Ainda de acordo com a palestrante, a atividade exercida por uma série de cientistas é uma atividade política que consiste em esclarecer e mostrar ao conjunto da sociedade a essência desses processos de convergência: mostrar quem ganha e quem perde neste contexto. Em geral, quem perde são aqueles atores sociais que não enxergamos devido à visão elitista presente em nossas análises. Todo cientista tem responsabilidade por aquilo que produz. Todo cientista social deve demonstrar o que está por trás da cena.

Em seus comentários, Steve começou por concordar com a existência do darwinismo social, embora reconhecendo que os cientistas estão pressionados pelas estruturas financeiras para a realização das pesquisas e também pelos valores de que devem produzir bens públicos relativos à segurança dos alimentos. Espera-se que a nanotecnologia seja responsável por superar diversos problemas da produção agrícola, como, por exemplo, a contaminação mais lenta pelos ingredientes ativos usados em tamanho nano. Este mundo agro-hegemônico não quer mudar suas práticas de produção agrícola, com rotação de culturas, por exemplo, mas quer, sim, continuar a produzir sempre com as mesmas variedades por anos seguidos. Enquanto isso, pesquisadores já demonstraram que o nanocapsulamento de ingredientes ativos pode torná-los mais tóxicos no processo produtivo da agricultura hegemônica.

Steve também abordou os estudos *in vitro* e a bioinformática como métodos de investigação mais baratos e rápidos do que outros procedimentos na pesquisa agrícola, no sentido do darwinismo social, apontando que falta um pouco de valentia aos pesquisadores para afirmarem que existem alternativas melhores do que a nanotecnologia para o desenvolvimento de uma agricultura mais eficiente e ambientalmente mais correta. Assinalou que os nanopesticidas desenvolvidos, enquadraram-se na categoria dos produtos que mais podem apresentar problemas no seu uso. São produtos novos que carregam uma grande possibilidade de serem prejudiciais ao processo de produção agrícola.

Durante esse debate, Peter questionou Paulo Martins, coordenador da Renanosoma, sobre a hipótese de que os estudos sobre nanotecnologia saíram de moda. Em uma primeira investigação, na base de dados que Peter usa normalmente, ao colocar o termo “nanotechnology”, a hipótese não foi comprovada, pois o termo apareceu em um crescente número de artigos publicados. Mas, em uma segunda abordagem, na área de ciências humanas, verificou-se que o número de artigos tem diminuído. Segundo Peter, parece que a nanotecnologia se “naturalizou” para os pesquisadores das ciências humanas, que deveriam continuar a examinar de forma crítica as nanotecnologias.

Em sua resposta, Paulo lembrou que, na primeira década deste século, o principal objeto do desenvolvimento das nanotecnologias foi o nanotubo de carbono. Vários grupos, redes, institutos de pesquisa, universidades nacionais e internacionais desenvolveram projetos com o objetivo de conhecer mais e melhor os nanotubos de carbono, então considerados a base da quarta revolução industrial, devido à sua aplicação no universo produtivo industrial. Na segunda década deste século, os estudos passaram a ter como elemento central o grafeno. Também aqui tivemos a constituição de grupos, redes e instituições de pesquisa voltados à produção de conhecimentos sobre o grafeno, o que rendeu até um Prêmio Nobel. Segundo Paulo, dois fatores podem explicar este fenômeno: 1) a comunidade científico-acadêmica vive de “hype”, entendido como um processo em que um tema de pesquisa se torna hegemonicamente dominante, consegue mais recursos públicos e privados, e tem mais pesquisadores e instituições dedicados a ele porque todo este conjunto de pesquisadores e instituições atribuem que este objeto de pesquisa é o mais importante para a “humanidade”; 2) as decisões tomadas pela National Nanotechnology Initiative (NNI), dos Estados Unidos, no que se refere aos principais temas de investigação a serem financiados com recursos públicos, tiveram “efeitos de lei” e foram adotadas também pela comunidade europeia e por outros países, inclusive o Brasil.

Para a pesquisadora Arline Arcuri, também participante do debate, a razão de as ciências humanas, aparentemente, não pesquisarem mais as nanotecnologias está no fato de que, com a convergência tecnológica, outras tecnologias se tornaram mais investigadas por terem maior impacto, como, por exemplo, a inteligência artificial e a indústria 4.0. Tudo isso tem como base a nanotecnologia, o que nem sempre é evidenciado. Dessa forma, quando se procura pelo termo “nanotecnologia”, estudos das ciências humanas não são encontrados. Com a utilização de outras palavras-chave, como inteligência artificial, indústria 4.0 e impactos no mundo do trabalho, certamente, pesquisas das ciências humanas seriam encontradas. Tania, por sua vez, lembrou que a questão dos temas “da moda” está presente em todas as áreas de investigação científica.

Em continuidade, foi comentada a apresentação do palestrante Jorge, que destacou a relação entre Covid-19 e nanotecnologia. O debatedor Peter pontuou que, inclusive, pesquisadores da Unicamp produziram um spray sanitizante para a limpeza de EPIs (Equipamentos de Proteção Individual). O spray é baseado em cobre e não em prata, por ser menos nocivo ao meio ambiente. Outro grupo da Unicamp utilizou nanopartículas de prata para esterilizar máscaras: foram feitos testes *in vitro*, que funcionaram, mas não foram realizados testes ambientais e toxicológicos, necessários segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde). Mesmo sem estes testes, a pesquisa viralizou nos meios de comunicação, sendo um exemplo de como uma visão parcial de um problema de investigação complexo pode encobrir outras questões. Peter indagou Jorge sobre essas situações controversas.

Jorge contou que, entre os artigos selecionados para sua apresentação, poucos foram além das pesquisas *in vitro*, o que não impediu que os resultados dessas pesquisas fossem divulgados. Empresas comerciais, inclusive farmacêuticas, procedem também dessa forma. No caso das vacinas, pela existência de um protocolo internacional criterioso, o processo é diferente. Mas, quando o tema da pesquisa se refere a sanitizantes, EPIs ou outros produtos onde se pretende que os efeitos das nanopartículas usadas permaneçam por muito tempo, é possível que se tenha impactos no meio ambiente ou na saúde humana. Alguns estudos deixam registrado o alerta de que mais testes devem ser realizados, em especial testes ambientais.

Para Peter, existe um jogo mal jogado na comunidade científica, com efeito na percepção pública. De acordo com o debatedor, esses avisos de que mais estudos devem ser feitos funcionam como um “desencargo de consciência”: o pesquisador quer publicar o resultado de seu trabalho, mas tem algumas dúvidas, então coloca esse alerta. Como a informação vai ser apropriada por outros colegas pesquisadores, pelo público em geral, pelas indústrias e pelos políticos, isso é um terreno perigoso, ainda pouco estudado.

A íntegra da Mesa “Tecnologias e sociedade: teoria social, agricultura e saúde”, realizada on-line na tarde do dia 6 de novembro de 2020, durante o XVII Seminariosoma, da qual participaram Tania Magno, Steve Suppan, Jorge Pontes e Peter Schulz, pode ser acessada no canal da Renanosoma (NanoWebTV) no YouTube:

<https://www.youtube.com/watch?v=I-g9im-LkoU>





CASA LEIRIA
Rua do Parque, 470
São Leopoldo-RS Brasil
casaleiria@casaleiria.com.br



ISBN 978-65-89503-12-5



9 786589 503125 >