

## NANOMATERIAIS E A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL SOB A PERSPECTIVA DA LEI 12.305/2010

*Verônica Vidal Fernandes Fornari Ramos*<sup>1</sup>

*Wilson Engelmann*<sup>2</sup>

DOI 10.29327/5321162.1-17

**Resumo:** O tema da pesquisa é: nanomateriais e a sustentabilidade ambiental sob a perspectiva da Lei 12.305/2010. Esse tema se delimita da seguinte forma: se estudará alguns nanomateriais utilizados no setor agrícola – fertilizantes; da referida lei, se analisará o art. 3º, XVI, da mencionada lei, que estabelece as características dos resíduos sólidos. O problema de pesquisa se formula assim: Como as características dos resíduos sólidos, de acordo com o art. 3º, XVI, da Lei 12.305/2010, se aplicam aos nanomateriais utilizados nos fertilizantes agrícolas? O objetivo geral é: estudar as características dos resíduos sólidos, definidos no art. 3º, XVI, da Lei 12.305/2010, se aplicam aos nanomateriais utilizados nos fertilizantes agrícolas. Os objetivos específicos são: a) conhecer a categoria dos nanomateriais existentes no setor agrícola; b) estudar a o conceito chave de “resíduos sólidos”, a partir da Lei n. 12.305/2010; c) analisar a possibilidade jurídica de se aplicar o conceito de resíduos sólidos aos nanomateriais. Metodologia que sustenta a pesquisa envolve a pesquisa bibliográfica, especialmente jun-

---

1 Estudante do Curso de Graduação em Direito da Unisinos, integrante do Grupo de Pesquisa JusNano/CNPq, Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq.

2 Professor e Pesquisador do Programa de Pós-Graduação em Direito - Mestrado e Doutorado - e do Mestrado Profissional em Direito da Empresa e dos Negócios, ambos da Unisinos; Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq; Líder do Grupo de Pesquisa JusNano/CNPq. E-mail: wengelmann@unisinos.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0012-3559>.

to ao Portal de Periódicos da Capes, e a pesquisa documental, com destaque à investigação legislativa. Resultados parciais (se existentes): se trata de uma pesquisa iniciada em 2023, quando a aluna ingressou na Iniciação Científica. Portanto, ainda se tem resultados preliminares e não conclusivos.

**Palavras-chave:** Nanomateriais. Nanofertilizantes. Resíduos sólidos. Lei n.º 12.305/2010. Nanotecnologias. Agroambiental. Meio ambiente.

**Abstract:** The research theme is: nanomaterials and environmental sustainability from the perspective of law 12.305/2010. This theme is delimited as follows: some nanomaterials used in the agricultural sector will be studied – fertilizers; of said law, it will be analyzed art. 3rd, XVI, of the aforementioned law, which establishes the characteristics of solid waste. The research problem is formulated as follows: As the characteristics of solid waste, according to art. 3, XVI, of Law 12.305/2010, if applicable to nanomaterials used in agricultural fertilizers? The general objective is: to study the characteristics of solid waste, defined in art. 3, XVI, of Law 12.305/2010, if applicable to nanomaterials used in agricultural fertilizers. The specific objectives are: a) to know the category of nanomaterials existing in the agricultural sector; b) study the key concept of “solid waste”, based on Law n. 12,305/2010; c) analyze the legal possibility of applying the concept of solid waste to nanomaterials. The methodology that supports the research involves bibliographical research, especially with the Capes Periodicals Portal, and documental research, with emphasis on legislative research. Partial results (if any): this is a research started in 2023, when the student joined the Scientific Initiation. Therefore, there are still preliminary and not conclusive results.

**Keywords:** Nanomaterials. Nanofertilizers. Solidwaste. Law n. 12,305/2010. Nanotechnologies. Agri-environmental. Environment.

## 1. INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é o estudo e manipulação de materiais em escala nanométrica, entre um e cem nanômetros. Essa área da ciência permite a criação de novos materiais, dispositivos e sistemas com propriedades únicas e potencialmente revolucionárias em diversas áreas, como a agricultura, medicina, cosméticos, entre outras. Pode-se exemplificar a dimensão de um “nano” de diversas formas, o tamanho é equivalente a aproximadamente cem mil vezes menor do que um fio de cabelo, trinta mil vezes menor do que um dos fios de uma teia de aranha ou, setecentas vezes menor que um glóbulo vermelho (Borjes; Gomes; Engelmann, 2014, p. 6-7).

Essa área da ciência permite a criação de novos materiais, dispositivos e sistemas com propriedades únicas e potencialmente revolucionárias em diversas áreas, como a agricultura, medicina, cosméticos, entre outras (Da Róz *et al*, 2015, p. 3). Portanto, é uma área que está em constante crescimento e desenvolvimento, trazendo consigo diversas inovações e benefícios para a sociedade. Entretanto, com o aumento de produção e utilização de nanomateriais no setor agrícola, surge a preocupação quanto à sua toxicidade e impactos ambientais, em especial quando descartados inadequadamente.

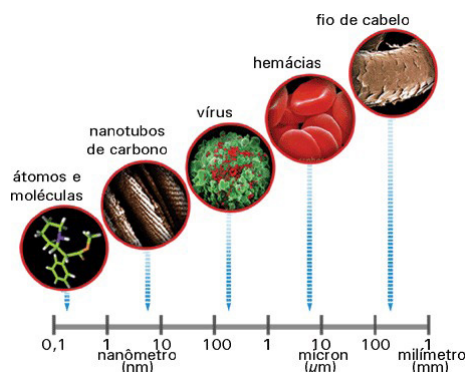
Nesse contexto, surge a questão: qual a possibilidade jurídica de se aplicar o conceito de resíduos sólidos aos nanomateriais utilizados nos fertilizantes agrícolas? É possível considerá-los como tal?

Antes de ser abordada a possibilidade jurídica de se aplicar este conceito de resíduos sólidos, é de suma importância compreender o que são resíduos sólidos. Segundo a Lei 12.305/2010, os resíduos sólidos são aqueles provenientes de atividades humanas, os quais se encontram no estado sólido ou semi-sólido, resultantes de atividades de origem agrícola, industrial, doméstica, hospitalar, comercial, entre outras.

Ademais, os nanomateriais, são materiais com dimensões na escala nanométrica, ou seja, entre 1 e 100 nanômetros. Essas dimensões conferem a esses materiais

propriedades físicas, químicas e biológicas, que podem ser diferentes das apresentadas pelos mesmos materiais em tamanho macroscópico.

Figura 1: Noção do tamanho de um nanômetro.



Fonte: WorkPress.com

Com esta imagem, ilustra-se o tamanho dos nanomateriais, comparando-se com um fio de cabelo, que possui menos de 1 milímetro, que já é extremamente fino. Então, um nanomaterial é dividir um metro por 1 bilhão de pedacinhos, e 1 desses pedacinhos é 1 nanometro.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como ensina Mario Augusto Tavares Russo (2003) “Os resíduos sólidos incluem materiais sólidos ou semissólidos provenientes das atividades humanas e que são rejeitados pelos seus produtores”. Os resíduos sólidos são classificados de acordo com sua origem, tipo de resíduo e composição química e periculosidade. A correta classificação do resíduo sólido é de extrema relevância para que se proceda a correta gestão e gerenciamento do resíduo sólido, assim minimizando ou tentando minimizar os efeitos danosos à saúde humana e ao meio ambiente.

Entre os princípios que fundamentam a PNRS estão: a visão sistêmica na gestão de resíduos sólidos que considere as

variáveis social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública; o desenvolvimento sustentável, a ecoeficiência e o reconhecimento do resíduo como reutilizável ou reciclável e, ainda, a responsabilidade compartilhada (Brasil, 2010).

De acordo com os estudiosos Steven Hankin e Nelson Eduardo Duran Caballero (2014) as nanotecnologias podem causar consequências negativas ambientais, sanitárias e de seguranças, antes que métodos adequados, baseados na análise quantitativa do risco sejam implementadas. Devido a isso, sugerem a efetivação de uma abordagem de precaução para a regulação dessa tecnologia, a fim de evitar possíveis efeitos danosos e uma reação pública. Ademais, alertam para a necessidade de abordagens regulatórias para as nanotecnologias, mas que estas sejam dinâmicas, maleáveis e ajustáveis, considerando os novos conhecimentos adquiridos e o entendimento dos possíveis impactos nanotecnológicos. Os especialistas na área verificaram há pouco tempo que os fatores regulatórios e da inovação podem ser integralizados (Hankin; Caballero, 2014).

O mercado da nanotecnologia é altamente promissor. Comprova-se com os dados coletados a partir de maio de 2021, em que o site StatNano divulgou:

| Ano  | Nano produtos | Empresas | Países |
|------|---------------|----------|--------|
| 2021 | 9035          | 2551     | 63     |
| 2022 | 18774         | 4644     | 64     |
| 2023 | 29541         | 8253     | 67     |

Estes dados são referentes aos nanomateriais no setor agrícola:

| Ano         | Nanomateriais | Tipos | Empresas | Países |
|-------------|---------------|-------|----------|--------|
| Maio 2021   | 243           | 38    | 87       | 28     |
| Agosto 2023 | 259           | 38    | 95       | 29     |

Dentre essas categorias de aplicação estão: a criação animal, a proteção de plantas, fertilizantes, melhoria do solo, e melhorias das plantas. Nesse sentido, destaca-se o uso de nanofertilizantes que podem encapsulados em nanopartículas para liberação controlada e sustentada de nutrientes e água no setor agrícola.

De acordo com o Anderson Wolff Machado, engenheiro agrônomo – evita-se a lixiviação, que ocorre quando um fertilizante comum, com sais de amônio, ureia, e compostos de nitrato e fosfato, que pode ser arrastado pela água até os lençóis freáticos, córregos e lagos, causando um desbalanceamento do meio, como a eutrofização, que seria a proliferação de microrganismos que consomem o oxigênio do local e causam a morte da vida marinha, e a volatilização que seria a perda desse material para o meio, ou seja, ele pode ser liberado mais rapidamente para atmosfera/ambiente.

Segundo o jornal da China, *Biotechnolgy Reports*, estima-se que cerca de 40-70% do nitrogênio, 80-90% do fósforo e 50-70% do potássio dos fertilizantes aplicados são perdidos para o meio ambiente e não podem ser absorvidos pela planta.

Portanto, de acordo com a Embrapa (2015), se os fertilizantes produzidos na escala nano, podem aumentar a produtividade das plantações e a precisão de aplicação, tornando a agricultura mais precisa, ou seja, são necessários menos agroquímicos, menos fertilizantes, menos água, para uma produção de mais qualidade e mais sustentável.

Entretanto, de nada adianta estes benefícios, se ao serem descartados incorretamente, poderão se transformar em impactos negativos no meio ambiente e à saúde. Voltando a pergunta que feita anteriormente sobre qual seria a possibilidade jurídica de aplicar o conceito de resíduos sólidos aos nanomateriais utilizados nos fertilizantes agrícolas e se é possível considerá-los como resíduos sólidos?

Conforme o jurista Juarez Freitas (2019), que expressa em seu livro “Sustentabilidade: Direito ao futuro”, que sustentabilidade é o princípio constitucional que determina, com eficácia direta e imediata, a responsabilidade do Estado e da sociedade pela concretização solidária do desenvolvimento

material e imaterial, socialmente inclusivo, durável e equânime, ambientalmente limpo, inovador, ético e eficiente, no intuito de assegurar, preferencialmente de modo preventivo e precavido, no presente e no futuro, o direito ao bem-estar. Ele afirma que “sustentabilidade é princípio-síntese que determina a proteção do direito ao futuro”

Assim, apesar de não haver uma definição específica para os nanomateriais na legislação brasileira, é possível argumentar que eles se enquadram na definição de resíduos sólidos estabelecida pela PNRS. Isso porque, mesmo que sejam utilizados em pequenas quantidades e em produtos específicos, os nanomateriais são provenientes de atividades humanas e podem se acumular no meio ambiente e no organismo humano, causando danos à saúde e ao ecossistema. O descarte correto destas nanopartículas ficaria ainda mais seguro e sendo viável os ajustes necessários para uma melhor efetivação, e assim tornando-se o seu uso mais sustentável e benéfico para o meio ambiente e a saúde.

A Lei 12.305/2010, também estabelece que os resíduos sólidos devem ser gerenciados de forma adequada, o que inclui a responsabilidade dos fabricantes em garantir a destinação correta dos resíduos gerados por seus produtos. Nesse sentido, seria necessário aplicar essa mesma responsabilidade aos fabricantes de produtos que contenham nanomateriais, exigindo que eles garantam a destinação adequada desses materiais após o fim de vida útil dos produtos.

O livro *Futuro Com ou Sem Agrotóxicos – Impactos Socioeconômicos Globais e as Novas Tecnologias*, possui informações relevantes para esta caso, fortalecendo o argumento de que a partir da potencialização do uso nanofertilizantes, surgem-se incertezas em relação aos riscos do uso destes produtos, tornando-se necessário mais estudos referentes a nanotoxicologia, a fim de evitar maiores danos com efeitos graves e imprevisíveis ao meio ambiente e à saúde humana (Hohendorff; Engelmann; Leal, 2021, p. 86). Além disso, ao aprofundar-se nas buscas no google acadêmico, nota-se que é muito maior o número pesquisas sobre os benefícios, do que os impactos que causam no meio ambiente, o que ainda é algo muito incerto e recente.

Assim, considera-se uma sinalização de que pesquisas relacionadas aos impactos destes nanofertilizantes precisam de uma atenção redobrada para evitar impactos indevidos.

Em virtude dos argumentos mencionados acima cita-se como um dos principais desafios, o pouco investimento na produção de conhecimento científico de curto, médio e longo prazo sobre os impactos ambientais e à saúde, pois a cada dia surgem novos nanomateriais, dificultando a definição de critérios para a sua classificação e gerenciamento como resíduos sólidos.

### **3. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Como as características dos resíduos sólidos, de acordo com o art. 3º, XVI, da Lei 12.305/2010, se aplicam aos nanomateriais utilizados nos fertilizantes agrícolas? Os nanomateriais representam uma nova fronteira tecnológica no setor agrícola, que oferecem soluções inovadoras para diversos desafios enfrentados pelos produtores. E cada categoria de nanomateriais apresenta propriedades únicas que precisam ser exploradas para melhorar a eficiência e reduzir impactos ambientais e a saúde.

No entanto, a aplicação desse conceito aos nanomateriais requer um esforço conjunto de diversos setores, desde a definição de critérios científicos para a sua classificação e gerenciamento até a implementação de infraestrutura e tecnologias adequadas para o seu tratamento e disposição final.

Por isso, comparando-se o conceito de resíduos sólidos que tem na Lei 12.305/2010, se pode dizer, ainda que preliminarmente que a lei dos resíduos sólidos pode ser aplicada aos nanomateriais no setor agrícola, devido a sua origem humana e o seu potencial impacto no meio ambiente e na saúde.

Segundo Cortes-Lobos (2013), é essencial atrelar o conceito de sustentabilidade na pesquisa em nanotecnologia, pois tem articulação em dois meios opostos. Por um lado, a pesquisa em nanotecnologia promete contribuir para a mitigação dos efeitos negativos sobre o meio ambiente e a saúde humana, por exemplo, reduzindo o uso de agroquímicos. Mas, por ou-



tro lado, a nanotecnologia enfrenta um aumento potencial de riscos ambientais e de saúde devido ao uso de nanopartículas.

Além disso, é importante ressaltar que a pesquisa na área de nanomateriais e sustentabilidade ambiental ainda está em estágio inicial, com resultados parciais e não conclusivos. É necessário investir em pesquisas de curto, médio e longo prazo para compreender melhor os impactos ambientais e à saúde desses materiais, bem como desenvolver critérios específicos para sua classificação e gerenciamento como resíduos sólidos.

Regular as nanotecnologias é um dos maiores desafios do sistema político, jurídico e econômico, considerando as peculiaridades das características físico-químicas dos nanomateriais, seus potenciais riscos e seu interesse comercial.

Conclui-se, que a aplicação do conceito de resíduos sólidos aos nanomateriais utilizados nos fertilizantes agrícolas é uma possibilidade jurídica que deve ser explorada. A legislação vigente, representada pela Lei 12.305/2010, fornece uma base legal para o gerenciamento desses materiais adequados, garantindo a proteção do meio ambiente e da saúde humana. No entanto, é necessário aprofundar as pesquisas nessa área e desenvolver estratégias de regulação que sejam adaptáveis às características únicas dos nanomateriais.

## **REFERENCIAS**

BRASIL, Lei N.º 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 1 abr. 2023.

- CAVIGLIONI, M. DE B. C. Técnicas nanotecnológicas para a agricultura e pecuária – um enfoque em controle de pragas e doenças, nutrição e saúde animal. *Embrapa*. Publicações. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120123/tecnicas-nanotecnologicas-para-a-agricultura-e-pecuaria---um-enfoque-em-controle-de-pragas-e-doencas-nutricao-e-saude-animal>. Acesso em: 5 maio 2023.
- CORTES-LOBOS, Rodrigo. Nanotechnology research in the us agri-food sectoral system of innovation: toward sustainable development. 2013. 250 f. Tese (Doutorado em Políticas Públicas) – School of Public Policy, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, EUA, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1853/47541>. Acesso em: 9 mar. 2023.
- DUHAN, Joginder Singh *et al.* Nanotechnology: The new perspective in precision agriculture. *Biotechnology Reports*. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X16301400>. Acesso em: 5 maio 2023.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa). Nanotecnologia. Sobre o tema. *Embrapa*, [2023?]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-nanotecnologia/nota-tecnica>. Acesso em: 18 jul. 2023.
- ENGELMANN, Wilson (coord.). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*. São Leopoldo, RS: Casa Leiria, 2021. Disponível em: <http://www.guaritadigital.com.br/casaleiria/acervo/direito/nanotecnologiasociedade/index.html>. Acesso em: 9 maio 2023.
- ENGELMANN, Wilson. Novos Desafios para o Direito na Era das Nanotecnologias. *Revista Tomo*, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, n. 29, p. 37-54, jul./dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufs.br/tomo/article/view/5976>. Acesso em: 17 abr. 2023.

- ENGELMAN, Wilson; HOHENDORFF, Raquel; LEAL, Daniela. Nanoagroquímicos e risco: uma (necessária) leitura a partir da sustentabilidade como referência aos objetivos do desenvolvimento da ONU. *In*: HUPFFER, Haide Maria; ENGELMANN, Wilson; WEYERMÜLLER, André Rafael (org.). *Futuro com ou sem agrotóxicos*: impactos socioeconômicos globais e as novas tecnologias. São Leopoldo, RS: Casa Leiria, 2021. Disponível em: <http://www.casaleiria.com.br/acervo/direito/futurocomousemagrotoxicos/index.html>. Acesso em: 9 maio 2023.
- FREITAS, Juarez. *Sustentabilidade*: direito ao futuro. Belo Horizonte: Fórum, 2019.
- HANKIN, Steve M.; CABALLERO, Nelson Eduardo Durán. *Regulação da Nanotecnologia no Brasil e na União Europeia*. Diálogos Setoriais União Europeia-Brasil. Brasília: MCTI, 2014. Acesso em: 12 mar. 2023.
- MACHADO, Anderson Wolff. Embrapa, 2023.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Saúde, Centro Estadual de Vigilância em Saúde (CEVRS). Resíduos sólidos. *CEVRS*, [2010?]. Disponível em: <https://www.cevs.rs.gov.br/residuos-solidos>. Acesso em: 2 maio 2023.
- RUSSO, Mario Augusto Tavares. *Tratamento de resíduos sólidos*. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2003. Disponível em: <http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf>. Acesso em: 6 mar. 2023.
- STATNANO. *Nanotechnology Products Database*. 2023. Disponível em: <https://product.statnano.com/>. Acesso em: 31 ago. 2023.