



NANOTECNOLOGIA, ODS 2 DA ONU E O FUTURO DA SEGURANÇA ALIMENTAR: O PAPEL DO DIREITO AGRÁRIO BRASILEIRO NA REGULAMENTAÇÃO DESTA TECNOLOGIA

NANOTECHNOLOGY, UN SDG 2 AND THE FUTURE OF FOOD SAFETY: ROLE OF BRAZILIAN AGRARIAN LAW IN THE REGULATION OF THIS TECHNOLOGY

Thiago do Carmo Santana*
Deise Marcelino da Silva**

RESUMO: A presente investigação aborda a intersecção entre a nanotecnologia e o setor agrícola, bem como o seu impacto na segurança alimentar, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 2 (ODS 2) da Agenda 2030 da ONU (2015). Utilizando-se de uma abordagem qualitativa e investigativa, este estudo é embasado em uma metodologia hipotético-dedutiva, recorrendo à revisão de literatura, que inclui artigos acadêmicos, obras literárias e publicações periódicas. Tem como objetivos principais a exploração das capacidades da nanotecnologia em fomentar práticas agrícolas mais sustentáveis e a análise da compatibilidade das legislações agrárias vigentes com os novos desafios impostos por tal inovação tecnológica. As descobertas revelam a urgência em desenvolver um quadro legal adaptável, capaz de acompanhar as inovações tecnológicas, em especial a nanotecnologia. O presente estudo se desenvolve no contexto da relação entre progresso tecnológico, legislação e sustentabilidade. Infere-se, portanto, que a combinação entre a nanotecnologia, a legislação agrária brasileira e o ODS 2) desempenha um papel fundamental na garantia da segurança alimentar em escala global, pois a nanotecnologia oferece ferramentas inovadoras para tornar a agricultura mais eficiente e sustentável, enquanto uma legislação adaptável garante que essas inovações sejam implementadas de maneira responsável e alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável. Juntos, esses elementos promovem práticas agrícolas que podem aumentar a produção de alimentos de forma sustentável, contribuindo, assim, para a erradicação da fome e a promoção da segurança alimentar em nível global.

Palavras-chave: Inovação; nanotecnologia; segurança alimentar; direito agrário brasileiro; ODS 2.

ABSTRACT: This investigation addresses the intersection between nanotechnology and the agricultural sector, as well as its impact on food security, in line with Sustainable Development Goal nº 2 (SDG 2) of the UN 2030 Agenda (2015). Using a qualitative and investigative approach, this study is based on a hypothetical-deductive methodology, using a literature review that includes academic articles, literary works and periodical publications. Its main objectives

* Graduação em Direito pela Faculdade Objetivo. Pós-Graduação pela Faculdade Damásio de Jesus Mestrando do Programa de Mestrado em “Direito, Sociedade e Tecnologia” das Faculdades Londrina. E-mail: thiagoadv93@gmail.com. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2606280508854493>. Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-8900-5052>.

**Doutorado em Direito pela Universidade Católica de Santos. Professora da Graduação e do Programa de Mestrado em “Direito, Sociedade e Tecnologia” das Faculdades Londrina. E-mail: deise.marcelino@hotmail.com.

are to explore the capabilities of nanotechnology in promoting more sustainable agricultural practices and to analyze the compatibility of current agricultural legislation with the new





challenges imposed by such technological innovation. The findings reveal the urgency in developing an adaptable legal framework, capable of keeping up with technological innovations, in particular nanotechnology. The present study is developed in the context of the relationship between technological progress, legislation and sustainability. It is therefore inferred that the combination of nanotechnology, Brazilian agrarian legislation and SDG 2 plays a fundamental role in ensuring food security on a global scale, as nanotechnology offers innovative tools to make agriculture more efficient and sustainable, while adaptable legislation ensures that these innovations are implemented in a responsible manner and in line with sustainable development objectives. Together, these elements promote agricultural practices that can increase food production in a sustainable way, thus contributing to the eradication of hunger and the promotion of food security at a global level.

Keywords: Innovation; nanotechnology; food security; agrarian law; SDG 2.

SUMÁRIO: Introdução; 1 O impacto da nanotecnologia na agricultura brasileira e no setor de alimentos; 2 Desafios regulatórios da nanotecnologia no direito agrário brasileiro; 3 Avanços e Obstáculos na Integração da Nanotecnologia com a Segurança Alimentar para o Desenvolvimento Sustentável: Rumo ao ODS 2 da Agenda 2030 da ONU; Conclusão; Referências.

INTRODUÇÃO

A nanotecnologia, ao promover o desenvolvimento de materiais e dispositivos na escala nanométrica, apresenta potencial para transformar o agronegócio, melhorando a eficiência e sustentabilidade da produção agrícola. Essa inovação é crucial para enfrentar desafios, como a segurança alimentar, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 2 (ODS 2) da Agenda 2030 das Nações Unidas (2015). A relevância deste estudo reside em conhecer os benefícios da nanotecnologia para o setor agrícola, no intuito de melhor analisar os desafios éticos e regulatórios, estabelecendo um equilíbrio entre a inovação, a proteção ambiental na agricultura brasileira e a segurança alimentar.

O objetivo central deste trabalho é analisar o impacto da nanotecnologia na segurança dos alimentos na vanguarda do papel do direito agrário brasileiro na orientação e conformidade relacionadas a essa novidade tecnológica. Detalhadamente, os objetivos específicos consistem em: a) inspecionar a legislação vigente que se aplica ao uso da nanotecnologia no setor agropecuário; b) avaliar a efetividade das normas jurídicas agrárias em fomentar práticas que sejam ao mesmo tempo sustentáveis e seguras; e c) explorar a consonância entre a nanotecnologia e o ODS 2. O enfoque permite uma compreensão abrangente das dinâmicas atuais no campo da nanotecnologia aplicada ao agronegócio.

Este estudo adota uma abordagem qualitativa e hipotético-dedutiva, focando na intersecção entre a nanotecnologia e o direito agrário no Brasil, para compreender a relação existente, em especial no campo do direito. Para tanto, utilizou-se de revisão de literatura, incluindo artigos acadêmicos, obras literárias e publicações periódicas, para fundamentar teoricamente a pesquisa e garantir uma visão atualizada da nanotecnologia e a sua regulamentação.

Ao examinar o direito agrário no Brasil, especialmente diante dos desafios e das oportunidades que a nanotecnologia apresenta para a agricultura, identificou-se uma notável deficiência na legislação agrária brasileira. Essa observação nos conduz à indagação: Está o atual arcabouço legal agrário brasileiro apto a enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades que a nanotecnologia traz para a agricultura? Caracteriza-se, primordialmente,



pela ausência de normas específicas regulamentando o emprego da nanotecnologia no setor agropecuário. A análise preliminar sublinha a premente necessidade de atualizar o marco regulatório, de modo a garantir adequada proteção jurídica, ambiental e alimentar.

Neste contexto, surge a presunção de que a nanotecnologia, embora detenha potencial significativo para atingir metas sustentáveis, inclusive no que tange à segurança alimentar, pode encontrar obstáculos no quadro legal vigente brasileiro, o qual se mostra possivelmente insuficiente para abarcar os novos desafios e potencializar as vantagens dessa inovação. Destarte, evidencia-se a imperiosidade de revisar e adaptar a legislação existente, com o intuito de otimizar os benefícios que a nanotecnologia pode trazer para o agronegócio, atenuando possíveis riscos e promovendo práticas sustentáveis.

O trabalho está estruturado da seguinte forma: inicialmente, introduziu-se o contexto e a importância da nanotecnologia na agricultura brasileira, evidenciando o seu alinhamento com o ODS 2 e as implicações regulatórias e éticas dentro do direito agrário. Seguiu-se com o primeiro capítulo, focando no impacto transformador da nanotecnologia na agricultura, explorando os avanços tecnológicos proporcionados por essa revolução. O segundo capítulo destacou os desafios regulatórios e éticos da nanotecnologia no direito agrário brasileiro, debatendo a necessidade de um marco regulatório específico que contemple as especificidades das nanotecnologias e os seus usos na agricultura. Esta seção também examinou as visões de diversas partes interessadas, desde o governo e o setor privado até a comunidade científica e a sociedade civil, sobre como equilibrar os benefícios da nanotecnologia com os riscos potenciais.

Além disso, o terceiro capítulo aborda as políticas públicas e as iniciativas possíveis para equilibrar a inovação e a segurança, considerando os riscos potenciais da nanotecnologia para a saúde humana e o meio ambiente. Neste capítulo, enfatiza-se como a regulamentação eficaz da nanotecnologia na agricultura e na segurança alimentar é fundamental para alcançar o ODS 2, garantindo o acesso universal a alimentos seguros e sustentáveis.

1 O IMPACTO DA NANOTECNOLOGIA NA AGRICULTURA BRASILEIRA E NO SETOR DE ALIMENTOS

Na era da Quarta Revolução Industrial, inúmeras inovações tecnológicas podem ser utilizadas pela sociedade. No setor do agronegócio, cita-se a tecnologia de monitoramento por satélite, drones, Internet das Coisas, carros/tratores sem motorista, *big data* e nanotecnologia. Este trabalho aborda a aplicação da nanotecnologia na agricultura, identificando os impactos dos nanomateriais no plantio e cultivo de alimentos para analisar o papel do direito agrário brasileiro na orientação e conformidade relacionadas a essa novidade tecnológica.

A par do contexto da Revolução Industrial da era digital, Schwab (2016, p. 16) enfatiza que a particularidade desse momento é a convergência de tecnologias e a interação entre os domínios físico, digital e biológico, ultrapassando as barreiras previamente existentes. Segundo o autor, a “Quarta Revolução Industrial, no entanto, não diz respeito apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Seu escopo é muito mais amplo. Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia [...]” (p. 16). Ainda lembra que a nanotecnologia “está progressivamente nos levando à construção de metamateriais, materiais inteligentes, que possuem propriedades que não ocorrem naturalmente” (p. 90).

Ao longo do século XXI no Brasil, observa-se a ascensão e o desenvolvimento acelerado da nanotecnologia, um dos campos mais promissores e extraordinários no âmbito científico e tecnológico. Operando na escala nanométrica, essa tecnologia representa um limiar onde o controle e a manipulação da matéria em sua forma mais elementar possibilitam avanços sem precedentes em várias áreas. A nanotecnologia não está apenas transformando os paradigmas em ciência dos materiais, eletrônica e medicina, mas também está introduzindo inovações revolucionárias no setor agrícola.



A Normativa ISO TS 27687, publicada em 2008,

conceitua nano-materiais como os objetos que possuem ao menos uma de suas dimensões na escala nanométrica (1-100 nm). Nesse contexto, o prefixo nano-, também é usado em unidades SI para indicar 10^{-9} , por exemplo, 1 nanômetro = 10^{-9} metros.

Contudo, o conceito mais aceito pelos órgãos internacionais é o decorrente do relatório da *International Organization for Standardization (ISO) TC 229*, publicada em 2016, que é o principal órgão mundial de padronização, em que as nanotecnologias são definidas em dois itens de interesse. O primeiro item segue o princípio de que essas tecnologias são:

[...] o entendimento e controle da matéria e dos processos em nano escala, tipicamente, mas não exclusivamente, abaixo de 100 nanômetros em uma ou mais dimensões, em que o aparecimento de fenômenos dependentes de tamanho normalmente permite novas aplicações.

Já o segundo item abrange o entendimento de que a nanotecnologia é

[...] a utilização de propriedades em materiais na nanoescala que diferem das propriedades individuais dos átomos, moléculas e massa para criação de matéria, utensílios e sistemas que exploram essas novas propriedades. (International Organization for Standardization, 2016)

As aplicações nanotecnológicas são imensas; porém, esses átomos em escala microscópica são regidos por leis físicas diferentes das conhecidas nas escalas grandes, o que proporciona ao homem descobertas e produções de formas e materiais diferentes com novos *designs* (Feynman, 1960). Tais procedimentos possibilitarão a idealização de um mundo superior em termos científicos e de crescimento econômico, militar, medicinal, biológico, eletrônico, energético, entre outros, modificando dessa maneira todos os aspectos da vida e do mundo em que vivemos (Drexler, 2009).

No âmbito do setor alimentício, observa-se uma crescente aplicabilidade da nanotecnologia. Essa tecnologia está progressivamente mais presente, manifestando-se por meio do emprego de uma diversidade de componentes alimentares, sistemas de encapsulação, bem como materiais destinados ao contato com os alimentos, incluindo embalagens e utensílios, já adotados em determinadas regiões (Greiner, 2009, *apud* Martins *et al.*, 2015, p. 27; Alencar, 2017; Wolfart, 2008).

A introdução da nanotecnologia tem o potencial de promover avanços significativos em diversas áreas da indústria alimentar. Isso inclui o aperfeiçoamento dos métodos de produção e processamento de alimentos, o desenvolvimento de novos materiais para embalagens que possam prolongar a durabilidade dos produtos nas prateleiras, bem como as inovações que alteram o sabor, a textura e a sensação dos alimentos. Além disso, possibilita um monitoramento mais eficaz da qualidade e do frescor dos alimentos, contribui para a diminuição do teor de gordura nos produtos, melhora a absorção de nutrientes e aumenta a rastreabilidade e segurança alimentar (Greiner, 2009; Dasgupta *et al.*, 2015; Handford *et al.*, 2014; Handford *et al.*, 2015, *apud* Martins *et al.*, 2015, p. 27).

As nanotecnologias têm uma aplicabilidade abrangente na cadeia de produção de alimentos, desde a fase inicial até o processamento e a embalagem. Na etapa de produção primária, é possível utilizar nanoquímicos com maior eficiência do que os produtos tradicionais, além de empregar nanomateriais na descontaminação da água e no tratamento de solos. Contudo, esses nanomateriais podem permanecer nos alimentos colhidos, apresentando um risco de exposição para os consumidores. No estágio de processamento, as nanotecnologias são integradas a equipamentos de produção, onde os nanomateriais podem estar diretamente em contato com as comidas, como no caso de revestimentos de máquinas que utilizam nanofiltros para remover as bactérias.

Essa inovação também é utilizada em embalagens e recipientes, com o objetivo de prolongar a conservação e manter a frescura dos produtos. Além disso, materiais de embalagem



podem conter nanossensores sensíveis a mudanças no ambiente, como variações de temperatura e umidade, deterioração dos produtos ou presença de microrganismos. Há uma preocupação ambiental quanto às embalagens com nanomateriais, pois, ao serem descartadas, podem liberar substâncias com propriedades antimicrobianas no ambiente. Por fim, os alimentos funcionais podem incluir nanomateriais como aditivos ou suplementos, otimizando a eficiência de componentes bioativos, como peptídeos e carboidratos, conforme destacado por Bouwmeester (*et al.*, 2009, *apud* Barros, 2011, p. 16).

A nanotecnologia, vista como uma revolução industrial moderna, tem atraído investimentos importantes globalmente, liderada pelos Estados Unidos, com a Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (US\$ 3,7 bilhões em 4 anos), seguida pelo Japão (US\$ 750 milhões anuais) e pela União Europeia (US\$ 1,2 bilhão anual). Países em desenvolvimento, embora com investimentos menores, também apresentaram contribuições notáveis, especialmente a China, que se tornou o segundo maior contribuidor em pesquisa nanotecnológica. Nações como Índia, Coreia do Sul, Irã e Tailândia investem focando em aplicações locais e desenvolvimento econômico, com o Irã explorando a nanotecnologia na agricultura e indústria alimentar, exemplificado pelo Nanocid, um agente antibacteriano. Em 2006, a Índia investiu cerca de US\$ 22,6 milhões no setor, conforme destacado por Pinto e Pimentel (2019).

Uma análise realizada pela consultoria Helmuth Kaiser (*apud* Pinto; Pimentel, 2019) prevê um expressivo aumento no setor de nanoalimentos, esperando-se que o mercado salte de US\$ 2,6 bilhões para US\$ 20,4 bilhões por volta de 2010, com a Ásia, tendo a China à frente, emergindo como o maior mercado. Atualmente, existem mais de 400 companhias globalmente engajadas em pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologias, com a previsão de que esse número cresça para 1.000 na próxima década. Estimativas da Business Communications Company sugerem que o mercado de nanotecnologias, avaliado em US\$ 7,6 bilhões em 2003, tem o potencial de atingir a marca de um trilhão de dólares. No entanto, o alcance completo do impacto das nanotecnologias na agricultura e no setor alimentício ainda não foi totalmente explorado.

A adoção da nanotecnologia na indústria de alimentos pode revolucionar o setor, permitindo a transformação direta de materiais primários em produtos e aliviando a necessidade de infraestrutura complexa e mão de obra especializada. No entanto, isso pode levar ao desemprego e agravar os problemas sociais. A tecnologia possibilita a produção de múltiplos compostos de um único insumo, como a soja, potencialmente tornando grandes investimentos e etapas de produção obsoletos e apontando uma reestruturação produtiva. Especialistas defendem que a nanotecnologia é um meio de reformular a agricultura e melhorar a segurança e a qualidade nutricional dos alimentos, embora muitos desses benefícios ainda sejam objetivos em longo prazo. O setor de embalagens já se beneficia desses avanços (Pinto; Pimentel, 2019).

De acordo com pesquisas, a nanotecnologia tem potencial para ser utilizada em alimentos funcionais, projetados para atender às necessidades específicas do organismo e otimizar a entrega de nutrientes. Equipes de pesquisa estão na vanguarda da criação de alimentos “sob medida”, que agem de forma passiva no corpo e disponibilizam nutrientes diretamente às células, conforme necessário. Uma inovação importante nesse campo é o desenvolvimento de nanocápsulas, as quais podem ser adicionadas aos alimentos para liberar nutrientes essenciais, como nutracêuticos, que incluem alguns compostos, como licopeno, betacaroteno, luteína, fitoesteróis, entre outros, de maneira controlada (Pinto; Pimentel, 2019; Luciano, 2020). O conceito de alimento interativo visa proporcionar ao consumidor a possibilidade de alterar as propriedades do alimento conforme as suas preferências gustativas ou exigências nutricionais. Essa inovação se baseia no uso de inúmeras nanocápsulas, que encapsulam agentes modificadores de sabor, cor ou suplementos, como vitaminas. Essas



cápsulas ficariam inativas dentro do alimento até serem ativadas por ele (Pinto; Pimentel, 2019; Martins *et al.*, 2015).

Uma das principais contribuições da nanotecnologia na agricultura é a otimização no uso de fertilizantes e outros insumos essenciais para o desenvolvimento adequado das plantas, incluindo a minimização de impactos negativos externos, como a contaminação do solo. O emprego de transportadores em escala nanométrica possibilita uma aplicação mais eficaz e consciente de fertilizantes, pesticidas, herbicidas e agentes de crescimento vegetal (Bouwmeester *et al.*, 2009; Dasgupta *et al.*, 2015, *apud* Martins *et al.*, 2015). A técnica de encapsulamento e liberação controlada desses compostos é fundamental para a realização de uma agricultura mais precisa, que previne o uso excessivo de produtos químicos e contribui para a redução de problemas ambientais.

A nanotecnologia avança no gerenciamento da qualidade da água na agricultura, especialmente na purificação e no monitoramento hídrico, destacando-se o uso de nanopartículas de prata com propriedades desinfetantes. Essas nanopartículas ajudam a destruir microrganismos patogênicos por meio de espécies reativas de oxigênio e processos catalíticos ativados por luz. Além disso, as nanopartículas metálicas, como dióxido de titânio e monóxido de zinco retidos, para eliminar contaminantes microbiológicos e orgânicos. A nanotecnologia permite técnicas inovadoras, como a nanobiorremediação, que transforma compostos orgânicos em não tóxicos; a nanofiltração para dessalinização; e a proteção de metais pesados com nanocápsulas, utilizando uma vasta área superficial destas para adsorver contaminantes (Greiner, 2009; Dasgupta *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2015).

Os nanofiltros representam outra aplicação crucial da nanotecnologia no processamento de alimentos. Eles não só desempenham um papel importante na dessalinização da água, mas também são utilizados diretamente em processos alimentares para a exploração de mercadorias a base de leite sem o carboidrato da lactose, de cafés descafeinados e na remoção de toxinas. Esses filtros nanoestruturados oferecem uma capacidade de filtragem muito mais precisa e eficiente do que os métodos tradicionais, permitindo um controle mais rigoroso sobre a qualidade e a pureza dos alimentos processados.

Essas inovações na nanotecnologia são fundamentais para atender às crescentes demandas por alimentos seguros, de alta qualidade e produzidos de maneira sustentável e eficiente. Ao incorporar essas tecnologias avançadas, a indústria de processamento de alimentos está não apenas melhorando os seus produtos, mas também contribuindo para práticas mais sustentáveis e responsáveis no tratamento dos recursos naturais e na gestão da segurança alimentar.

Apesar das perspectivas promissoras, a insegurança acerca dos impactos das nanotecnologias tem provocado debates e a necessidade de uma legislação apropriada. Enquanto alguns países adotam uma abordagem mais cautelosa, outros estão mais focados nos benefícios e potenciais de desenvolvimento que a nanotecnologia pode oferecer. A regulamentação eficaz e a garantia da segurança, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente, são essenciais para o avanço responsável dessa tecnologia revolucionária.

2 DESAFIOS REGULATÓRIOS E ÉTICOS DA NANOTECNOLOGIA NO DIREITO AGRÁRIO BRASILEIRO

A Quarta Revolução Industrial, impulsionada pelas nanotecnologias e pela busca pela sustentabilidade, está modificando o mercado do século XXI, introduzindo tanto oportunidades quanto desafios. As tecnologias, incluindo as nanopartículas, são ferramentas cujo impacto depende do seu uso por humanos. Enquanto a exposição a nanopartículas naturais, como as erupções vulcânicas, é antiga, preocupa-se hoje com as geradas industrialmente, especialmente na indústria alimentícia. As pesquisas sobre a sua toxicidade e o impacto ambiental são iniciais,

gerando debates sobre a regulação dessa tecnologia. A acessibilidade varia conforme a aplicação; as embalagens com nanopartículas são menos controversas do que alimentos as contendo diretamente (Stephanes; Silva, 2023; House of Lords, 2010, *apud* Silva; Premebida; Calazans, 2012).

A regulamentação dessas áreas apresenta desafios significativos devido à grande variedade e às distintas propriedades das nanopartículas. Atualmente, estão sendo desenvolvidos e adaptados protocolos de segurança específicos para avaliar a toxicidade de diferentes tipos de nanomateriais. Existe um debate entre aqueles que defendem uma abordagem precaucionária, exigindo uma investigação aprofundada antes da aprovação de produtos com potenciais riscos toxicológicos ainda não completamente avaliados, e os que advogam por um regime regulatório mais flexível, permitindo que os produtos cheguem ao mercado mesmo sob normas que não contemplam plenamente as especificidades desses novos materiais. Destaca-se a urgência em estabelecer um arcabouço regulatório e legal robusto para a administração dessas novas entidades, um ponto crucial para as ciências sociais e para o desenvolvimento de uma sociedade que incorpora continuamente novas tecnologias e modos de interação com o mundo, conforme referenciado por Silva, Premebida e Calazans (2012, p. 214).

A nanotecnologia, diferentemente de áreas como biotecnologia e energia nuclear, é promovida de forma a obter uma imagem positiva que facilite a sua acessibilidade social. Esse esforço busca garantir financiamento privado para pesquisa e desenvolvimento, crucial para a comercialização dessa inovação tecnológica. A realização de audiências públicas serve como espaços para debate, melhorar a governança tecnológica e lidar com possíveis impactos negativos. Essas reuniões também ajudam a integrar opiniões da sociedade nos avanços nanotecnológicos (House of Lords, 2010, *apud* Silva; Premebida; Calazans, 2012).

O princípio da precaução destaca-se diante dos riscos que as nanotecnologias podem trazer à saúde, especialmente na indústria alimentícia. As nanopartículas, nanoemulsões e nanocápsulas estão sendo usadas na produção e embalagem sem supervisão adequada. Evidências apontam que algumas substâncias, como prata, dióxido de titânio e óxido de zinco, comuns em suplementos e embalagens, podem ser altamente tóxicas e ambientalmente importantes (Miller; Senjen, 2008, *apud* Pinto; Pimentel, 2019).

O tamanho diminuto das nanopartículas resulta em propriedades inovadoras, como um aumento significativo na atividade química e biológica, além de uma capacidade melhorada de penetração celular. Pesquisas em ambientes controlados apontam para possíveis perigos associados a essas partículas, tais como a elevação da oxidação em células de tecidos humanos, a geração de proteínas que provocam inflamação, as mutações genéticas, os danos à estrutura do núcleo celular e as interferências no funcionamento das células (Miller; Sejen, 2008, *apud* Pinto; Pimentel, 2019; Perez; Bertagnolli; Alves; Penna, 2012).

Maynard (2006, p. 27), argumenta que prevenir efetivamente os impactos dos nanomateriais na saúde humana e no meio ambiente é uma tarefa praticamente impossível. Considerando os riscos potenciais que as aplicações de nanotecnologia na agricultura e na produção de alimentos podem representar, Miller e Senjen (2008, *apud* Pinto; Pimentel, 2019) propõem a suspensão do desenvolvimento de novos produtos alimentares, embalagens e produtos agroquímicos. Essa pausa seria mantida até que a segurança das nanotecnologias seja adequadamente debatida e estabelecida por meio de regulamentações específicas.

O Grupo ETC (Grupo de Ação sobre Erosão, Tecnologia e Concentração) é uma organização como um coletivo internacional de pesquisa e ação, trabalhando em conjunto com diversos movimentos populares e organizações da sociedade civil que se originou em 1977 como uma discussão sobre sementes e, ao longo de mais de quatro décadas, expandiu-se para abordar questões globais relacionadas à conservação da biodiversidade agrícola, segurança



alimentar e os impactos das novas tecnologias nas populações rurais. Inicialmente focado em temas como propriedade intelectual, biotecnologia e conservação de recursos genéticos vegetais, o grupo cresceu para abranger preocupações sociais e ambientais mais amplas, como biopirataria, genômica humana e nanotecnologia. Esta organização possui status consultivo e/ou observador em várias agências das Nações Unidas e está comprometida com a justiça social e ambiental, os direitos humanos e a defesa de sistemas agroalimentares justos e ecológicos.

Esse Grupo ETC (2005b) levanta preocupações sobre as nanotecnologias, abrangendo impactos em economias emergentes, segurança, saúde pública, meio ambiente, direitos humanos e agricultura. Enfatiza a necessidade de investigação pública e regulação adequada para evitar riscos potenciais para essas inovações. Destaca a falta de diretrizes para avaliar produtos nanotecnológicos na indústria alimentar como uma negligência que compromete a confiança no sistema alimentar, sublinhando a importância de padrões específicos de saúde e segurança (Grupo ETC, 2005b, *apud* Pinto; Pimentel, 2019).

Ribeiro (2006, *apud* Pinto; Pimentel, 2019) enfatiza a importância de desenvolver regulamentações e conduzir estudos detalhados sobre os usos e impactos da nanotecnologia, com ênfase particular nos aspectos toxicológicos. Isso inclui preocupações, como a dispersão de nanopartículas no ambiente, a exposição contínua a essas partículas por parte dos trabalhadores, a presença persistente de nanopartículas na cadeia alimentar e o potencial de diminuição de empregos no setor agrícola.

Martins (2006, *apud* Pinto; Pimentel, 2019) destaca a necessidade de se debater a sustentabilidade da sociedade sob uma ótica ambiental e econômica diante dos impactos provocados pelos avanços tecnológicos significativos. Ele propõe reflexões sobre o risco de as nanotecnologias contribuírem para uma distribuição de recursos ainda mais desigual, visto que a pesquisa e o desenvolvimento nesse campo tendem a ser onerosos e tecnicamente desafiadores, ficando muitas vezes fora do alcance de pequenas entidades. Tal cenário poderia reforçar o domínio de mercado pelas grandes corporações, que são as principais financiadoras das pesquisas em nanotecnologia.

O desenvolvimento de regulamentações específicas para a nanotecnologia é prejudicado devido ao seu caráter inovador e às informações limitadas sobre os seus efeitos adversos, gerando ceticismo entre a população e as autoridades. Críticos enfatizam a necessidade de mais estudos para garantir a segurança de produtos nanotecnológicos antes de sua comercialização em massa. Preocupações graves surgem de cientistas, entidades governamentais, ONGs e consumidores sobre os riscos potenciais da nanotecnologia para a saúde, a segurança no trabalho e o meio ambiente, promovendo o princípio da precaução como estratégia para gerenciar esses riscos e incertezas (Barufaldi, 2023; Suzin; Fassina, 2017).

No entanto, o Brasil ainda carece de normas específicas para o setor, com exceção de algumas iniciativas isoladas, como o Decreto nº 6.112/2007 e a Portaria nº 245/2012 do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que instituiu o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano).

A União Europeia tomou a frente nos esforços de regulamentação global da nanotecnologia por meio do Projeto NanoReg, conduzido entre 2013 e 2016. Esse projeto tem o objetivo de disponibilizar dados confiáveis que apoiem o processo decisório e a formulação de normativas específicas para a nanotecnologia. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) criou, em 2014, o Comitê Interno de Nanotecnologia (CIN), voltado especialmente para o setor alimentício, demonstrando o compromisso com a regulamentação da nanotecnologia dentro da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN). A Anvisa, em colaboração com outras instituições, está em processo de discussão sobre essa matéria, sendo que a autorização para o uso de materiais em escala nanométrica em produtos alimentícios está

sujeita à sua inclusão em listagens positivas, que são elaboradas com base em legislações e padrões internacionais (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2020).

A parceria entre Brasil e União Europeia, especialmente por meio do Projeto Diálogos Setorial, representa um esforço colaborativo para formular padrões em nanotecnologia que harmonizem as demandas econômicas, sociais, de saúde e ambientais. Além disso, o SisNano, uma rede de laboratórios no Brasil, visa fornecer infraestrutura e suporte para o desenvolvimento e a inovação em nanociências e nanotecnologias.

A regulação da área de pesquisa da nanotecnologia está em discussão no Legislativo por meio de dois Projetos de Lei (PL 5.133/2013 e PL 6.741/2013), que tratam sobre a regulamentação da rotulagem de produtos e sobre a Política Brasileira de Nanotecnologia, devido à falta de comprovação científica de alguns produtos e possíveis riscos.

Carniel (2013, p. 50) ressalta a importância de levar em conta os riscos que a nanotecnologia pode apresentar ao meio ambiente e à saúde pública. Engelmann e Aldrovandi (2012, p. 122), por sua vez, sublinham a necessidade de garantir o direito dos consumidores à informação a respeito da toxicidade potencial dos alimentos produzidos com nanotecnologia. Além disso, Fernandes e Oliveira (2020) debatem a dificuldade em responsabilizar os fabricantes pelos possíveis danos causados por nanomateriais, dada a incerteza científica que ainda envolve os riscos associados a esses materiais.

A regulação da nanotecnologia, portanto, requer um equilíbrio entre inovação, redução de riscos e debate público, como demonstrado por experiências anteriores com tecnologias emergentes. Essa necessidade de equilíbrio é ainda mais crítica dado o rápido crescimento da nanotecnologia e as incertezas sobre os riscos potenciais que esses novos materiais podem apresentar para a sociedade (Tobler, 2020, p. 65). A complexidade da regulamentação dessas tecnologias emergentes é evidenciada pelo fato de que, muitas vezes, os riscos potenciais não podem ser claramente qualificados ou quantificados com as metodologias atuais preconizadas pela legislação vigente.

O chamado por uma regulação detalhada e inclusiva na área da nanotecnologia ganha força com os apelos de inúmeras organizações representativas de cidadãos e de trabalhadores ao redor do mundo, que reivindicam uma pausa na produção e venda de produtos baseados em nanotecnologia até que sejam estabelecidas garantias claras de segurança.

3 AVANÇOS E OBSTÁCULOS NA INTEGRAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA COM A SEGURANÇA ALIMENTAR PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: RUMO AO ODS 2 DA AGENDA 2030 DA ONU

A integração da nanotecnologia na regulamentação alimentar, alinhada com o ODS 2 da Agenda 2030 da ONU (2015), é crucial para assegurar a segurança alimentar e promover a agricultura sustentável. O ODS 2 da Agenda 2030 da ONU (2015) visa erradicar a fome, garantir segurança alimentar e nutricional, e promover práticas agrícolas sustentáveis, conforme estabelecido pela Agenda 2030 da ONU (2015). Esse objetivo engloba o acesso universal a alimentos seguros e nutritivos, a erradicação de todas as formas de desnutrição e a promoção da sustentabilidade ambiental na produção de alimentos (ONU, Agenda 2030).

A Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006, responsável pela instituição do Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (Sisan) no Brasil, caracteriza a segurança alimentar e nutricional como a garantia de acesso contínuo e duradouro a alimentos de qualidade, em consonância com práticas de consumo saudáveis e sustentáveis (art. 3º). Esse conceito se encontra profundamente ligado a aspectos ambientais, à saúde pública e aos direitos dos consumidores, tal como estabelecido pelo art. 225 da Constituição Federal de 1988.

No estudo de Regis (2022, p. 32), explora-se como a agricultura digital, potencializada pelas nanotecnologias, está sendo adotada por produtores de grãos, marcando um avanço



significativo na agricultura contemporânea por meio da integração de tecnologias avançadas. Esse avanço está transformando as práticas agrícolas, com ênfase na gestão eficiente de recursos e no cumprimento de normas ambientais. A agricultura digital é destacada como um meio para melhorar a produção agrícola em eficácia e uniformidade, otimizando tempo e recursos, e promovendo benefícios sociais em escala global. Além disso, estimula o compartilhamento de informações além das fronteiras tradicionais do setor, impulsionando novas oportunidades de inovação.

Bolfe, et al (2020, p. 381 e 382) investiga os desafios, as tendências e as futuras possibilidades dentro da agricultura digital, enfatizando como a combinação de diversas tecnologias, está modelando o futuro da agricultura. Eles apontam para a necessidade de uma abordagem integrada que considere tanto as inovações tecnológicas quanto as implicações ambientais e de segurança alimentar.

Adicionalmente, a aplicação de nanotecnologias na produção alimentar, incluindo o uso de organismos geneticamente modificados (OGMs) que empregam nanotecnologia, traz potenciais revolucionários para o setor agrícola. No entanto, Blasco e Picó (2011), Brody (2008) e Cushen (2012) salientam a importância de regulamentações rigorosas para garantir a segurança alimentar em longo prazo e proteger a saúde pública e o meio ambiente. Essa convergência de tecnologia e regulamentação sinaliza uma era de transformações profundas na agricultura, onde a inovação tecnológica deve estar alinhada com a sustentabilidade e a segurança.

A segurança de alimentos com nanotecnologia é uma preocupação crescente, dada a rápida comercialização dessas tecnologias e a falta de regulamentações específicas (Blasco; Picó, 2011, *apud* Assis *et al.*, 2011, p. 106). A Anvisa, por meio da Resolução (RDC) nº 26, de 2015, estabeleceu requisitos para a rotulagem de alimentos que causam alergias, demonstrando a importância da transparência para a segurança do consumidor.

O desafio é equilibrar os interesses econômicos da indústria alimentícia e do agronegócio com a tutela dos bens ambientais e a saúde pública. A nanotecnologia oferece benefícios, como a promoção de alimentos seguros, menos perecíveis e com potencial terapêutico, mas também acarreta desafios relacionados à ética e transparência na produção (Cushen, 2012).

O Relatório apresentado pelo Brasil durante a Cúpula Mundial de Alimentação, realizada em Roma em 1994, reforça a concepção de que o acesso à alimentação constitui um direito humano fundamental para a garantia de uma existência digna e satisfatória. A Lei Orgânica de Segurança Alimentar do Brasil, em seus arts. 3º e 4º, enfatiza a relevância do acesso a alimentos que sejam seguros do ponto de vista biológico, sanitário e nutricional, além de incentivar a adoção de hábitos alimentares saudáveis.

Garcia (2007) enfatiza a necessidade de um mercado ético, priorizando o desenvolvimento e a sustentabilidade da vida em um bem comum. Assim, a regulamentação da nanotecnologia na indústria alimentícia deve equilibrar inovação, segurança alimentar e nutricional, e sustentabilidade ambiental, alinhando-se com o ODS 2 para garantir uma comunidade mais equitativa e ambientalmente responsável.

No âmbito da regulamentação da nanotecnologia na agricultura, o direito agrário tem um papel essencial. A legislação atual, geral e não específica, precisa evoluir para abordar os riscos e benefícios da nanotecnologia de maneira eficaz. As políticas públicas e regulamentações claras são necessárias para avaliar a toxicidade e o impacto ambiental das nanopartículas e promover a investigação e o avanço tecnológico no setor.

Em suma, a regulação da nanotecnologia na agricultura e segurança alimentar é um imperativo para alcançar o ODS 2 da Agenda 2030 da ONU (2015), garantindo o acesso a alimentos seguros e sustentáveis para todos. As políticas públicas devem equilibrar inovação e



segurança, considerando os perigos potenciais para a saúde humana e o meio ambiente, para assegurar uma comunidade mais equitativa e ambientalmente responsável.

CONCLUSÃO

A nanotecnologia, aplicada ao setor alimentar, representa um avanço significativo, possibilitando alguns benefícios, como a otimização da qualidade nutricional dos alimentos e a diminuição da aplicação de agrotóxicos. No entanto, essas inovações demandam uma regulamentação cuidadosa e um efetivo controle de segurança alimentar para garantir que é fundamental que os produtos estejam aptos para serem consumidos. É vital que as companhias disponibilizem dados claros e sem ambiguidades sobre os seus produtos aos consumidores, destacando tanto os benefícios quanto os possíveis riscos associados.

O Brasil, ainda em fase de desenvolvimento de uma legislação específica para nanotecnologias, enfrenta o desafio de promover um desenvolvimento equitativo, evitando a criação de desigualdades entre aqueles que têm acesso a alimentos nanoestruturados e os que não têm. Neste contexto, o papel do direito agrário na regulamentação torna-se fundamental para garantir que a introdução da nanotecnologia no setor alimentício ocorra de forma segura e responsável.

Além disso, a nanotecnologia introduz novos paradigmas no setor alimentício, com aplicações variadas, desde as embalagens até a nanoencapsulação de ingredientes. Para a concretização plena desses avanços, é crucial o investimento em pesquisa e desenvolvimento, a formulação de políticas públicas adequadas e a capacitação de profissionais especializados.

A segurança alimentar, um direito fundamental, está intimamente ligada à obrigação mútua de todos os participantes no processo de produção e consumo do alimento. A nanotecnologia, ao ser aplicada na produção de alimentos, deve respeitar os equilíbrios ambientais e garantir a segurança e qualidade dos produtos. É imperativo que as inovações tecnológicas sejam acompanhadas de testes rigorosos e que os alimentos lançados no mercado atendam a todas as normas de segurança e padrões de qualidade.

O desafio enfrentado pelo Brasil e por outros países é garantir que os avanços proporcionados pela nanotecnologia sejam acessíveis a todos, respeitando os princípios da justiça social e da sustentabilidade ambiental. A legislação e as políticas públicas devem ser direcionadas para regulamentar e promover um uso seguro e responsável da nanotecnologia na agricultura e na produção de alimentos, visando não apenas a segurança alimentar, mas também a conservação do ambiente natural e o bem-estar comum.

Portanto, a evolução da nanotecnologia no setor alimentar traz consigo um conjunto de oportunidades e desafios. A responsabilidade compartilhada entre governo, indústria e sociedade é fundamental para garantir que os benefícios dessa tecnologia sejam maximizados, enquanto os riscos são minimizados. Isso exige um compromisso contínuo com a pesquisa, a regulamentação eficaz e o desenvolvimento de políticas públicas que assegurem um futuro alimentar seguro, sustentável e equitativo para todos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA NACIONAL (Brasil). Gerência-Geral de Alimentos. Gerência de Avaliação de Risco e Eficácia de Alimentos. Perguntas e Respostas. *Materiais em contato com alimentos*, 2020. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/2810640/Embalagens+%28materiais+em+contato+com+alimentos%29/13cb02a4-85c0-413f-87fd-ea696c3ea435>. Acesso em: 20 dez. 2023.





ALENCAR, Maria Simone de Menezes *et al.* Análise da produção científica brasileira sobre nanotecnologia e saúde. *Reciis – Rev Eletron Comun Inf Inov Saúde*, jan./mar. 2017. *E-book*. Disponível em:

https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/19053/ve_ALENCAR_Maria_Simone_de_Menezes_et_al_2017.pdf?sequence=2. Acesso em: 20 dez. 2023.

ASSIS, Letícia Marques de; ZAVAREZE, Elessandra da Rosa; PRENTICE-HERNÁNDEZ, Carlos; SOUZA-SOARES, Leonor Almeida de. Características de nanopartículas e potenciais aplicações em alimentos. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 15, n. 2, p. 99-109, abr./jun. 2012. *E-book*. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/bjft/a/LKt5hYRHMhgQrzHZ4WdWxCp/?format=pdf&%3blang=pt>. Acesso em: 23 dez. 2023.

BLASCO, C.; PICÓ, Y. Determining nanomaterials in food. *Trends in Analytical Chemistry*, Oxford, v. 30, n. 1, p. 84-99, 2011.

BOUWMEESTER, H.; DEKKERS, S.; NOORDAM, M. Y.; HAGENS, H. W. I.; BULDER, A. S.; HEER, C.; VOORDE, S. E. C. G.; WIJNHOFEN, S. W. P.; MARVIN, H. J. P.; SIPS, A. J. A. M. *Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production*, 2008. *E-book*. Disponível em: www.elsevier.com/locate/yrtph. Acesso em: 20 dez. 2023.

BARROS, Rosa Maria da Silva; WAISSMANN, William. *Nanoalimentos e nanotecnologias aplicadas a alimentos – Riscos potenciais, necessidades regulatórias e proposta de instrumento para verificar opiniões sobre riscos potenciais à saúde e ao ambiente*. Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de Mestre em Ciências na área de Saúde Pública Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP). Rio de Janeiro, jun. 2011. *E-book*. Disponível em: <https://bvssp.icict.fiocruz.br/lildbi/docsonline/get.php?id=2574>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BARUFALDI, Mauricio. *Nanoalimentos: nanopartículas manipuladas à escala molecular*, 2023. *E-book*. Disponível em: https://br.linkedin.com/in/mauriciobarufaldi?trk=article-ssr-frontend-pulse_publisher-author-card. Acesso em: 20 dez. 2023.

BOLFE, E. L. *et al.* *Desafios, tendências e oportunidades em agricultura digital no Brasil*, 2020. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126283>. Acesso em: 7 abr. 2024.

BRASIL. *Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006*. Cria o Sistema de Segurança Alimentar e Nutricional – Sisan com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111346.htm. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRASIL. *Sisnano*. UFV. Disponível em: <https://sisnano.ufv.br/sobre-o-sisnano/>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRASIL. *Instituto Nacional de Tecnologia*. Cenano. Disponível em: <https://www.gov.br/int/pt-br/servicos-tecnologicos/nanotecnologia/apresentacao>. Acesso em: 20 dez. 2023.





BRASIL. *SisNano* – Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias. Pós-Graduação em Ciências e Materiais Avançados. Disponível em: <https://nano.ufabc.edu.br/sisnano-sistema-nacional-de-laboratorios-em-nanotecnologias/>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRASIL. *Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome*. Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. Disponível em: <https://www.gov.br/mds/pt-br/acesso-a-informacao/carta-de-servicos/desenvolvimento-social/inclusao-social-e-produtiva-rural/sistema-nacional-de-seguranca-alimentar-e-nutricional>. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRASIL. Planalto. *Decreto nº 7.272, de 25 de agosto de 2010*. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7272.htm. Acesso em: 20 dez. 2023.

BRODY, A. L. *et al.* Innovative Food Packaging Solutions. *Journal of Food Science*, v. 73, n. 8, p. 107-116, out. 2008.

CÂMARA DOS DEPUTADOS. *PL 6.741/2013 por Sarney Filho de 11 de novembro de 2013*. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposição=600333>. Acesso em: 20 dez. 2023.

CARNIEL, Beatriz de Faria. *Avaliação de impactos ambientais e sociais do uso da nanotecnologia na agricultura: uma proposta metodológica*. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/7025/5424.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 mar. 2024

CARDOSO, Nathalice Bezerra; MACHADO, Elisa Campos. *Bibliotecas verdes e sustentáveis no Brasil TransInformação*, Campinas, 29(2):141-149, maio/ago. 2017. *E-book*. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/tinf/a/7dRCtJTvNCHqMzSJQbfMqYy/?format=pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

CUSHEN, M.; KERRY, J.; MORRIS, M.; CRUZ-ROMERO, M.; CUMMINS, E. Nanotechnologies in the food industry – Recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science & Technology*, v. 24, n. 1, p. 30-46, 2012.

DASGUPTA, N.; RANJAN, S.; MUNDEKKAD, D.; RAMALINGAM, C.; SHANKER, R.; KUMAR, A. Nanotechnology in Agro-food: From Field to Plate. *Food Research International*, v. 69, p. 381-400, 2015.

DREXLER, Eric. Os nanossistemas: possibilidades e limites para o planeta e para a sociedade. In: NEUTZLING, Inácio; ANDRADE, Paulo Fernando Carneiro de (org.). *Uma sociedade pós-humana: possibilidades e limites das nanotecnologias*. São Leopoldo/RS: Editora Unisinos, 2009.

ENGELMANN, Wilson; ALDROVANDI, Andrea; BERGER FILHO, Airton Guilherme. *Perspectivas para a regulação das nanotecnologias aplicadas a alimentos e biocombustíveis*,





v. 1, n. 4, p. 115-127, nov. 2013. *E-book*. Disponível em:
<https://visaemdebate.incqs.fiocruz.br/index.php/visaemdebate/article/view/69/76>. Acesso em:
20 dez. 2023.

ETC GROUP. *Down on the farm*, 2005a. Disponível em:
<https://www.etcgroup.org/content/etc-group-brief-history>. Acesso em: 20 dez. 2023.

ETC GROUP. *Nanotecnologia: os riscos da tecnologia do futuro*. Porto Alegre: L&PM
Editores, 2005b. 197 p.

FERNANDES, Rafael Gonçalves; OLIVEIRA, Liziane Paixão Silva. Desafios à imputação
de responsabilidade civil ao fornecedor de nanoalimentos. *Rev. Dir. & Desenvol. da
UniCatólica*, v. 3, n. 1, jan./jun. 2020. Disponível em:
https://www.researchgate.net/profile/Rafael-G-Fernandes-2/publication/346717782_desafios_a_imputacao_de_responsabilidade_civil_ao_fornecedor_de_nanoalimentos/links/5fcf757c45851568d149ded0/desafios-a-imputacao-de-responsabilidade-civil-ao-fornecedor-de-nanoalimentos.pdf. Acesso em: 9 abr. 2024.

FERRO, Camila de Oliveira. *Nanotecnologia aplicada aos alimentos no Brasil e riscos à
saúde*. Fundação Oswaldo Cruz/Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde.
Programa de Pós-Graduação em Vigilância Sanitária. Rio de Janeiro, 2020. p. 36. *E-book*.
Disponível em:
https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/54392/2020_monografia_camila-ferro.pdf?sequence=2&%3bisAllowed=y. Acesso em: 20 dez. 2023.

FEYNMAN, Richard P. There's plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new
field of physics. *Engineering and Science, Pensilvânia, California*, Institute of Technology, v.
23, n. 5, p. 22-36, Feb. 1960. *E-book*. Disponível em:
<http://calteches.library.caltech.edu/47/3/ES.23.5.1960.0.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

GARCIA, Maria da Glória F. P. D. *O lugar do direito na protecção do ambiente*. Coimbra:
Almedina, 2007. Disponível em: <https://icjp.pt/sites/default/files/media/720-1113.pdf>. Acesso
em: 26 mar. 2024

GHIROTTI, Aryala Stefani Wommer; QUEIROZ, Renata Capriolli Zocatelli. Reflexos
jurídicos do uso de tecnologias de monitoramento remoto em propriedades rurais.
Revista do Instituto de Direito Constitucional e Cidadania – IDCC, Londrina, v. 8, n. 1, e
082, jan./jun. 2023. DOI: 10.48159/revistadoidcc.v8 n1.e082.

GREINER, R. Current and Projected Applications of Nanotechnology in the Food Sector.
Nutrire, v. 34, n. 1, p. 243-260, abr. 2009.

HANDFORD, C. E.; DEAN, M.; HENCHION, M.; SPENCE, M.; ELLIOTT, C. T.;
CAMPBELL, K. Implications of Nanotechnology for the Agri-Food Industry: Opportunities,
Benefits and Risks. *Trends in Food Science and Technology*, v. 40, p. 226-241, 2014.

HANDFORD, C. E.; DEAN, M.; HENCHION, M.; SPENCE, M.; ELLIOTT, C. T.;
CAMPBELL, K. Awareness and Attitudes Towards the Emerging Use of Nanotechnology in
the Agri-Food Sector. *Food Control*, v. 57, p. 24-34, 2015.





HOUSE OF LORDS. *Nanotechnologies and food: Science and Technology Committee, 1st Report of Session 2009–10*, v. 1, 2010. Disponível em: <http://www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/board/fsa100306.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

ISO/TS 27687:2008. *Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects nanofibre and nanoplate*. Stand. Recomm. S.R. CEN ISO/TS 276872009 2009, 7.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO/TC 229. *Nanotechnologies*. Genebra, 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/committee/381983.html>. Acesso em: 20 dez. 2023.

JOSEPH, T.; MORRISON, M. *Nanotechnology in agriculture and food*. Disponível em: http://www.nanoforum.org/nf06~modul~showmore~folder~99999~scid~377~.html?action=longview_publication&. Acesso em: 20 dez. 2023.

JOSEPH, T.; MORRISON, M. *Nanotechnology in agriculture and Food. Nanoforum Report, 2006*. Disponível em: <http://www.nanoforum.org/datein/nanotechnology%20in%20agriculture%20and%20food.pdf?20032007152346>. Acesso em: 20 dez. 2023.

LACERDA, André Luiz de Souza. *Nanotecnologias na indústria de alimentos. E-book*. Disponível em: https://www.academia.edu/10576828/nanotecnologias_na_ind%c3%9astria_de_alimentos. Acesso em: 20 dez. 2023.

LEFF, Enrique. *Globalização, ambiente, e sustentabilidade do desenvolvimento. In: Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder*. 8. ed. Tradução: Lúcia Mathilde Endlic Orth. Petrópolis: Vozes, 2011.

LUCIANO, Ana Paula; SILVEIRA, Clóvis Eduardo Malinverni da. *A responsabilidade civil ambiental frente aos riscos sociais, ambientais e laborais associados à nanotecnologia*. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Direito, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://1library.org/document/z1gel3pz-responsabilidade-ambiental-frente-sociais-ambientais-laborais-associados-nanotecnologia.html>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MACEDO, Eliana Frantz de. *Curso de extensão em nanotecnologia como benefício à saúde na modalidade a distância. 23º Seminário Internacional de Educação, Tecnologia e Sociedade de Metodologias Ativas, 2018. E-book*. Disponível em: <file:///C:/Users/Thiago/Downloads/1122-Texto%20do%20Artigo-2928-2-10-20181112.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MAYNARD A. *Nanotechnology: Assessing the risks*. *Nanotoday* 1(2), 2006, p. 22-33. Disponível em: <https://web.pdx.edu/~pmoock/phy381/nano%20risks.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024



MARTINS, P. R. (org.). Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável. In: MARTINS, P. R. (org.). *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente – II Seminário Internacional*. São Paulo: Xamã V.M. Editora, 2006. p. 114-132.

MARTINS, Paulo Roberto; DULLEY, Richard Domingues; RAMOS, Soraia de Fátima; MARTINS, Víctor de Carvalho; BRAGA, Elaine Cristina de Oliveira; GODOY, Ronoel Luiz de Oliveira; BORGUINI, Renata Galhardo; PACHECO, Sidney; SANTIAGO, Manuela Cristina Pessanha de Araujo; NASCIMENTO, Luzimar da Silva de Mattos do. Nanotecnologia em alimentos: uma breve revisão. *Perspectivas da Ciência e Tecnologia*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, 2015. *E-book*. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/119554551/589-1848-1-pb>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MENDONÇA, Ana Waleska P. C. O educador: de intelectual a burocrata. *SciELO Brasil*, 2001. *E-book*. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/es/a/CFhysXCMxGNq6RZnzWJd56g/?format=html&%3blang=pt>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MILLER, G.; SENJEN, R. *Out of the laboratory and on to our plates: nanotechnology in food & agriculture*. Disponível em: <http://nano.foe.org.au>. Acesso em: 20 dez. 2023.

MOONEY, P. Congresso de agroecologia debate a nanotecnologia. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 19, n. 2, 35-37 p., jul. 2006. Entrevista concedida a Juliana Wilke e Paulo Sergio Tagliari.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. *Ministério discute a regulamentação de produtos oriundos de nanotecnologia*, 10 nov. 2016. Disponível em: http://www.mcti.gov.br/visualizar/-/asset_publisher/jIPU0I5RgRmq/content/ministeriodiscute-a-regulamentacao-de-produtos-oriundosdenanotecnologia:jsessionId=019323A71DDDF1FF331262870EF2ED8D3. Acesso em: 20 dez. 2023.

NOGUEIRA, Elizabeth Alves; BARBOSA, Marisa Zeferino André Luiz de Souza. *Nanotecnologias na indústria de alimentos*. *E-book*. Disponível em: https://www5.pucsp.br/eitt/downloads/vi_ciclo_paulomartins_marisabarbosa_nano_puc.pdf. Acesso em: 20 dez. 2023.

OLIVEIRA, Marcio Batista de; FERREIRA, Monalisa Verginia Felício; DELAZARI, Renata Danielle Cardoso; BORGES, Adriana Sanches; LEAL, Antonio Cezar. A aplicabilidade do princípio da precaução e a responsabilidade civil ambiental nas decisões dos comitês de bacias hidrográficas. *XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu/PR, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH1535-1-20190812-220203.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Agenda 2030. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 21 dez. 2023.





PEREZ, Florência Sainz Perez; BERTAGNOLLI, Silvana Maria Michelin; ALVES, Marta Palma; PENNA, Neidi Garcia. Nanotecnologia: aplicações na área de alimentos. *Disc. Scientia. Série: Ciências da Saúde*, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 97-110, 2012. Recebido em: 01.03.2012. Aprovado em: 04.07.2012. *E-book*. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.edu.br/index.php/disciplinarumS/article/download/994/938>. Acesso em: 20 dez. 2023.

PINTO, Marcos Evandro T.; PIMENTEL, Rosana da Silva. Nanotecnologia: A nanotecnologia aplicada na indústria de alimentos. *Biomedicina, Nanotecnologia*, Universidade Salgado de Oliveira, Niterói/RJ, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://evandrobrasil.blogspot.com/2019/06>. Acessado em: 18 nov. 2023.

REGIS, M. de S. *Agricultura digital: adoção e difusão entre os produtores bancarizados de grãos*, 2022. Dissertação (Mestrado em Agronegócios). Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/46717>. Acesso em: 7 abr. 2024.

RIBEIRO, S. O impacto das tecnologias em escala nano na agricultura e nos alimentos. In: MARTINS, P. R. (org.) *Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente*. São Paulo: Xamã, 2006. p.197-204 (Trabalho apresentado no 2º Seminário).

RODRIGUES, Augusto Zimmer; ENGELMANN, Wilson. O direito e a inovação tecnológica: os (novos) desafios do emprego das nanotecnologias. *R. Fac. Dir. UFG*, v. 38, n. 2, p. 212-240, jul./dez. 2014. *E-book*. Disponível em: <https://egov.ufsc.br/portal/sites/default/files/16422-146174-1-pb.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2023.

SILVA, Tania Elias; PREMEBIDA, Magno da Adriano; CALAZANS, Diego. Nanotecnologia aplicada aos alimentos e biocombustíveis: interações sociotécnicas e impactos sociais. *Liinc em Revista*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 207-221, mar. 2012. *E-book*. Disponível em: <https://revista.ibict.br/liinc/article/view/3351/2957>. Acesso em: 20 dez. 2023.

SUZIN, Querli Polo. *Promoção de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável: um estudo sobre os produtores de uva orgânica no Município de São Marcos/RS*, 2017. 102 f. Dissertação de Mestrado em Direito. Universidade de Caxias do Sul (UCS). Caxias do Sul, 2017. *E-book*. Disponível em: https://web.archive.org/web/20180721042241id_/http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/mostrausppga/xviiustrappga/paper/download/5576/1845. Acesso em: 20 dez. 2023.

SUZIN, Querli Polo; FASSINA, Joice. Nanotecnologia e segurança alimentar. *XVII Mostra de Iniciação Científica*, Pós-Graduação, Pesquisa e Extensão Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade de Caxias do Sul (UCS), Caxias do Sul, 27 e 28 out. 2017. Disponível em: https://web.archive.org/web/20180721042241id_/http://www.ucs.br/etc/conferencias/index.php/mostrausppga/xviiustrappga/paper/download/5576/1845. Acesso em: 9 abr. 2024.

SCHWAB, Klaus. *A quarta revolução industrial*. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.



STEPHANES, Gabriela Vianna; DA SILVA, Deise Marcelino. O direito agrário brasileiro no contexto do desenvolvimento sustentável na era digital a importância da tecnologia no agronegócio e o uso dos drones no setor. *Revista Direito & Paz*, São Paulo/SP, p. 60-81, 1º sem. 2023. Disponível em:

<https://revista.unisal.br/lo/index.php/direitoepaz/article/view/1702/684>. Acesso em: 7 abr. 2024.

TOBLER, Juliana Palermo; ROCHA, Helvécio Vinícius Antunes. Bases regulatórias para a avaliação da segurança de medicamentos à base de nanotecnologia. *Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia*, v. 8, n. 2, p. 64-74, 2020. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/341834854_Bases_regulatorias_para_a_avaliacao_da_seguranca_de_medicamentos_a_base_de_nanotecnologia. Acesso em: 20.mar. 2024

VEIGA, José Eli da. *Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI*. Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

WOLFART, Graziela. Nanotecnologia, saúde e ambiente: riscos e benefícios. *Revista do Instituto Humanitas Unisinos online*, edição 252, 31 mar. 2008. *E-book*. Disponível em:

<https://www.ihuonline.unisinos.br/artigo/1668-priscyla-daniely-marcato>. Acesso em: 20 dez. 2023.