

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

VALENTINA GARCIA CASTILHO

NANOTECNOLOGIA E SUAS IMPLICAÇÕES NA ENGENHARIA AMBIENTAL

FRANCISCO BELTRÃO

2021

VALENTINA GARCIA CASTILHO

NANOTECNOLOGIA E SUAS IMPLICAÇÕES NA ENGENHARIA AMBIENTAL

NANOTECHNOLOGY AND ITS PURSUITS IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná(UTFPR).

Orientador: Profº Dr. Hernan Vielmo

FRANCISCO BELTRÃO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

VALENTINA GARCIA CASTILHO

Nanotecnologia e suas Implicações na Engenharia Ambiental

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 09 de dezembro de 2021.

Diretor Geral Prof. Dr. Hernan Vielmo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Profa. M.a Marlise Schoenhals

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Profa. Dra. Ticiane Sauer Pokrywiecki

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

FRANCISCO BELTRÃO

2021

À minha mãe e ao meu irmão, que sempre foram meu refúgio, minha fortaleza e meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por eu ter tido saúde, determinação para não desanimar e me permitir ultrapassar os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

À minha família, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao Professor Hernan Vielmo por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

A todos os membros da banca por se disponibilizarem a contribuir com este trabalho.

Aos Professores da UTFPR-FB, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Agradeço também a todos aqueles que contribuíram, de alguma forma para minha formação, o meu muito obrigada.

“Demoramos muito tempo para aprender que tudo na natureza é feito de átomos, agora estamos aprendendo a fazer tudo a partir dos átomos (Cylon Silva)”.

RESUMO

Nanotecnologia, é uma ciência inovadora que engloba muitas áreas de pesquisa e manuseio de objetos medidos em nanômetros, que são equivalentes à bilionésima parte de um metro, e com a capacidade de manipular átomos e moléculas a fim de criar estruturas mais complexas. A Nanotecnologia tem sido considerada a peça central naquilo que os economistas denominam de quarta revolução Industrial, por destacar-se pela multidisciplinaridade, e se enquadrar no grupo das tecnologias convergentes, devido haver interação e combinação cooperativa entre diferentes áreas de conhecimento. Apesar de parecer uma tecnologia recente, é bem mais antiga do que se pode imaginar, a Nanotecnologia tem sido aplicada desde a Idade Média, porém os alquimistas que utilizavam estas nanopartículas não tinham o conhecimento do que se tratava e que seria estudada muitos anos depois. A partir da construção do Microscópio de Varredura por Tunelamento, que permitiu avaliar novas estruturas que não podiam ser analisadas devido às limitações tecnológicas da época. Recentemente a Nanotecnologia vem sendo disseminada pelo mundo todo, com promessas de uma melhor qualidade de vida e praticidade para o dia-a-dia do ser humano. No entanto, pouco é abordado a respeito dos perigos que nanotecnologia pode oferecer, tanto para a saúde do trabalhador, quanto do consumidor e também ao meio ambiente, devido aos diversos riscos globais que ultrapassam fronteiras. Sem mencionar da ausência de uma legislação científica, legal ou social específica referente a Nanotecnologia no Brasil e no resto do mundo. O estudo visa fazer um levantamento bibliográfico das principais aplicações, riscos e perspectivas futuras da nanotecnologia no meio ambiente. As metodologias adotadas foram as ferramentas 5W2H com priorização GUT e QCA, com a finalidade de obter os dezesseis principais tópicos para a Revisão de Literatura. O resultado do estudo não tem a intenção de esgotar o assunto e sim por em evidências sobre: O recente e inédito pré-aprovado Projeto de Lei nº 880, que ainda é merecedor de algumas inclusões e alterações, a fim de contribuir exclusivamente para um cenário mais qualificado de um assunto de suma importância que é a Nanotecnologia. Os grandes riscos que os nanomateriais oferecem devido possuírem propriedades e comportamentos tão diversos que é impossível fazer uma avaliação genérica de seus danos à saúde e ao meio ambiente. A sociedade para ser mais participativa no processo que é praticamente nula até por desconhecimento sobre o tema Nanotecnologia. E por último ao descaso por parte do setor público referente aos poucos recursos destinados para os impactos da Nanotecnologia. Cabe à Engenharia Ambiental avaliar continuamente o desenvolvimento das tecnologias no ponto de vista do seu potencial risco, buscando alternativas e soluções que minimizem ou eliminem os possíveis danos ao meio ambiente ou à saúde.

Palavras Chaves: Regulamentação; ciência inovadora; manipulação molecular; sustentabilidade ambiental, riscos ecológicos.

ABSTRACT

Nanotechnology is an innovative science that includes many areas of research and handling of objects measured in nanometers, which are equivalent to a billionth of a meter, and with the ability to manipulate atoms and molecules in order to create more complex structures. Nanotechnology has been considered the centerpiece in what economists call the fourth Industrial Revolution, as it stands out for its multidisciplinary, and fits into the group of converging technologies, due to interaction and cooperative combination between different areas of knowledge. Despite looking like a recent technology, it is much older than one can imagine, Nanotechnology has been applied since the Middle Ages, but the alchemists who used these nanoparticles did not have the knowledge of what they were and that they would be studied many years later. From the construction of the Scanning Tunneling Microscope, which allowed evaluating new structures that could not be analyzed due to the technological limitations of the time. Recently, Nanotechnology has been disseminated throughout the world, with promises of a better quality of life and practicality for the human being's daily life. However, little is discussed about the dangers that nanotechnology can offer, as for the health of the worker as of the consumer, and also for the environment, due to the diverse global risks that cross borders. Not to mention the absence of specific scientific, legal or social legislation regarding to Nanotechnology in Brazil and the rest of the world. The study aims to carry out a bibliographical survey of the applications, risks and future perspectives of nanotechnology in the environment. The methodologies adopted were the 5W2H tools with GUT and QCA prioritization, for the purpose of obtaining the sixteen main topics for the Literature Review. The result of the study is not intended to exhaust the subject, but to provide evidence: On the recent and unpublished pre-approved Bill N°. 880, which is still deserving of some additions and changes, in order to contribute exclusively to a more qualified as an extremely important subject, which is Nanotechnology. About the great risks that nanomaterials pose due to their properties and behaviors so diverse that it is impossible to make a generic assessment of their damage to health and the environment. The society to be more participatory in the process, which is practically null even due to lack of knowledge about Nanotechnology. On the subject and the negligence on the part of the public sector regarding the few resources destined to the impacts of Nanotechnology. Environmental Engineering is responsible for continuously evaluating the development of technologies from the point of view of their potential risk, seeking alternatives and solutions that minimize or eliminate possible damage to the environment or health.

Keywords: Regulation; innovative science; molecular manipulation; environmental sustainability; ecological risks.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – A taça de Lycurgus.....	18
Figura 2 – Marcos da história da Nanotecnologia no Brasil.....	34
Figura 3 – Classificação das Linhas de Pesquisa em nano por área.....	35
Predominante.	
Figura 4 – Artigos publicados sobre nanotecnologias por.....	36
pesquisadores brasileiros entre 2001 e 2018.	
Figura 5 – Representação do Sistema Nacional de Ciência,	37
Tecnologia e Inovação (SNCTI) e do Ecossistema de Inovação Brasileiro, responsáveis por propor, desenvolver, produzir e absorver as soluções tecnológicas geradas para cada um dos temas estratégicos do Plano de Ação.	
Figura 6 – Estratégia de Captação e alocação de recursos.....	39
Para o desenvolvimento sustentável das Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, tendo como exemplo a Nanotecnologia.	
Figura 7 – Eixos de Desenvolvimento Sustentável.....	41
Figura 8 – Nanossegurança na Cadeia de Valor. (Safe By Design).....	46
Figura 9 – Representação esquemática dos órgãos e entidades em	47
atuação conjunta que darão subsídios para estabelecimento do Marco Regulatório para Nanotecnologia.	
Figura 10 – Representação esquemática da estrutura e.....	50
funcionamento de um Centro de Inovação em Nanotecnologia e Materiais Avançados.	
Figura 11 – Potenciais Centros Avançados com possibilidade de.....	50
serem implementados.	
Figura 12 – Logo de junção entre SisNANO e a EMBRAPII.....	51
Figura 13 – Métodos de Nanufatura em Nanoescala: <i>top-down</i> e.....	61
<i>bottom-up</i> .	
Figura 14 – Convergência das abordagens <i>top-down</i> e <i>bottom-up</i>	61
Figura 15 – IBERDROLA, A Nanotecnologia de perto.....	70
Figura 16 – Ciclo de vida do nanomaterial.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia nas áreas de.....	54
Nanotecnologia aplicada à Saúde.	
Tabela 2 – Alguns exemplos de aplicações de nanomateriais.....	66
manufaturados, em produtos de utilização correntes e de	
consumo humano.	
Tabela 3 – Aplicações da Nanotecnologia.....	67
Tabela 4 – Principais Inovações com o uso da Nanotecnologia e.....	68
Nanociência.	
Tabela 5 – Mapa das Propostas Legislativas apresentadas ao.....	84
Congresso Nacional por meio dos Projetos de Lei	
relacionados ao Tema Nanotecnologia.	
Tabela 6 – Comparações Internacionais Patentes – EPO.....	85
Tabela 7 – Comparações Internacionais Patentes – EPO com escalas.....	86
diferentes por país.	
Tabela 8 – Pesquisa de Palavras Chaves em Outubro/2021.....	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBAN	Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia
CBCIN	Centro Brasil-China de Pesquisa e Inovação em Nanotecnologia
CBPF	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas
CCFOTO	Comitê Consultivo de Fotônica
CCNano	Comitê Consultivo de Nanotecnologia
CCNANOMAT	Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Novos Materiais
CDTN	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CETENE	Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
CGNT	Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologia
CGTE	Coordenação Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Estratégicas
CIGS	Centro de Instrução de Guerra na Selva
CIN	Comitê Interministerial de Nanotecnologias
CNEN	Comissão Nacional em Energia Nuclear
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
CTNano	Comissão Técnica Nacional de Nanosseguurança
DETEC	Departamento de Tecnologias Estruturantes
DGP	Diretório dos Grupos de Pesquisa
DTN	Rede Tolerante ao Atraso (Delay- Tolerant Networking)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
Encti	Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
FAP	Fundação de Amparo à Pesquisa
FCN	Fórum de Competitividade em Nanotecnologia
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUNDEP	Fundação de Desenvolvimento e Pesquisa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis IBMP – Instituto de Biologia Molecular do Paraná
IBN	Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia
ICT	Instituição Científica, Tecnológica e de Inovação
IES	Instituto de Ensino Superior
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPA	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IoT	Internet of Things
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LexML	Rede de informação Legislativa e Jurídica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MD	Ministério da Defesa
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, atual Ministério da Economia
MEC	Ministério da Educação
MF	Ministério da Fazenda, atual Ministério da Economia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Ministério da Saúde
NANoREG	A common European approach to the regulatory testing of nanomaterials
N&N	Nanociência e Nanotecnologia
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

Ods	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PPA	Plano Plurianual
PBN	Programa Brasileiro de Nanotecnologia
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PDP	Política de Desenvolvimento Produtivo
PL	Projeto de Lei
PNCTI	Política Nacional de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação
PNCTIS	Política Nacional de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação à Saúde
PPA	Plano Plurianual
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SEFAE	Secretaria de Políticas para Formação e Ações Estratégicas
SEMPI	Secretaria de Empreendedorismo e Inovação
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SETEC	Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
SibratecNANO	Sistema Brasileiro de Tecnologia: Centros de Inovação em Nanotecnologia
SisNANO	Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias
SNCTI	Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
UFABC	Universidade Federal do ABC
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPA	Universidade Federal do Pará
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

UNICAMP

Universidade Estadual de Campinas

USP

Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivo Específico	20
3	JUSTIFICATIVA	21
4	REVISÃO DE LITERATURA	23
4.1	História da Nanotecnologia Mundial	23
4.1.1	Principais Acontecimentos.....	23
4.2	História e Atualidade da Nanotecnologia no Brasil	33
4.2.1	Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras.....	36
4.2.2	Estratégia Orçamentária Financiamento.....	38
4.2.3	Eixos de Desenvolvimento Sustentável.....	39
4.2.4	Principais Desafios.....	41
4.2.5	O Plano de Ação/2019 em MCTI.....	42
4.2.5.1	<u>Ação 1</u>	43
4.2.5.1.1	<i>Ação Nucleadora</i>	44
4.2.5.2	<u>Ação 2</u>	45
4.2.5.3	<u>Ação 3</u>	47
4.2.5.4	<u>Ação 4</u>	48
4.2.5.4.1	<i>Criação do Centro de Inovação</i>	49
4.2.5.4.2	<i>Credenciamento de uma Unidade EMBRAPAII para Nanoprodutos</i>	51
4.2.5.5	<u>Ação 5</u>	52
4.3	Políticas Públicas da Nanotecnologia no Brasil	53
4.4	Nanociência e Nanotecnologia: Definições e Nomenclaturas	56
4.5	Aplicações da Nanotecnologia	64
4.6	Vantagens e Desvantagens da Nanotecnologia	69
4.7	Os riscos do uso da Nanotecnologia	70
4.8	Seus impactos atual e futuro sobre as atividades antrópicas	75
4.9	Segurança dos Nanomateriais	76
4.10	Inovações e Mercado da Nanotecnologia	77

4.11	Regulamentação sobre Nanotecnologia.....	79
4.12	Patentes na área de Nanotecnologia.....	84
4.13	Investimento Mundial na área de Nanotecnologia.....	89
4.14	Nanotecnologia e sua influência Social.....	92
4.15	Nanotecnologia e Meio Ambiente.....	93
4.16	Territórios Mercantis dos Nanoprodutos.....	95
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	97
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	98
7	CONCLUSÕES.....	101
	REFERÊNCIAS.....	103
	ANEXO.....	118

1 INTRODUÇÃO

Quando se pensa que nada mais pode aparecer neste mundo tão moderno, surge um novo sistema tecnológico totalmente inovador e revolucionário, que se chama Nanotecnologia, que engloba muitas áreas de pesquisa, de manuseio de objetos medidos em nanômetros, que são equivalentes à bilionésima parte de um metro, e pode ser designada como a capacidade de manipular átomos e moléculas a fim de criar estruturas mais complexas.

A Nanotecnologia tem sido considerada por alguns estudiosos como peça central naquilo que os economistas denominam de quarta revolução industrial, por destacar-se pela multidisciplinaridade, pois seu estudo relaciona áreas da física, química e biologia, podendo-se concluir que é a real potencialidade dessa nova tecnologia, enquadrando-se no grupo das tecnologias convergentes, já que há interação e combinação cooperativa entre diferentes áreas de conhecimento, como a tecnologia da informação, a medicina, a neurociência cognitiva e a biotecnologia. Isso tudo possibilitou o emprego da nanotecnologia em todos os setores industriais de produção, modificando de forma revolucionária as técnicas de síntese e manufatura na indústria médica, de higiene e beleza, “gestão ambiental e da tecnologia da informação, impactando tanto as relações sociais, políticas e ambientais, quanto as relações com os consumidores (BUSSINGER; TOSE, 2017)”.

Segundo os defensores, chamados também de “nano-otimistas”, tais como: K. Eric Drexler, Jamie Dinkelacker, Glenn Harlan Reynolds, Damien Broderick, Mark Suchman (Martins, P.R. et al., 2011), “Nanotecnologia foi a coisa mais importante que surgiu na terra desde a Revolução Industrial (Centro Ecológico, 2009)”, porque ela possibilita reconstruir o mundo criado pelo ser humano, pelo fato dos cientistas poderem acessar átomo a átomo, molécula a molécula permitindo assim, um desencadeamento de novas ideias de tudo.

Apesar de parecer uma tecnologia recente, é bem mais antiga do que se pode imaginar. Historicamente, é de conhecimento que a tinta nanquim, desenvolvida na China há mais de dois mil anos, é composta de nanopartículas de

carvão (SOUSA, et al., 2018). E também, ainda no século IV, os romanos produziam pigmentos com partículas coloidais de ouro e prata, encontradas no famoso cálice de Lycurgus (o Cálice de Licurgo) exposto no Museu Britânico (Figura 1).

Sendo este considerado o mais antigo (fabricado entre os anos de 290 e 325 d.C.) objeto no qual foi utilizado nanomateriais, confeccionado em vidro e impregnado de nanopartículas de ouro e prata (nanopartículas com 50 nanômetros de diâmetro).

Figura 1 - A taça de Lycurgus.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lycurgus_Cup_red_BM_MME1958122.1.jpg#metadata. Foto original licenciada por Creative Commons Attribution 2.5 Generic license.

Atualmente se menciona muito acerca da nanotecnologia, recentemente essa tecnologia vem sendo disseminada pelo mundo todo, com promessas de uma melhor qualidade de vida e praticidade para o dia-a-dia do ser humano.

No entanto, pouco é abordado a respeito dos perigos que a nanotecnologia pode oferecer, tanto para a saúde do trabalhador, quanto do consumidor e também para o meio ambiente.

Além disso, com a questão ambiental, o direito atual não tem como garantir de fato a sadia qualidade de vida, em decorrência do surgimento de diversos riscos globais, não atingindo apenas determinado território, já que os riscos ultrapassam fronteiras, devido a circulação de mercadorias, as quais muitas delas são produtos

produzidos a partir de nanotecnologia. Sendo assim, essa circulação pode ser realizada legalmente ou ilegalmente através de mercados formais e informais em diversos locais do mundo. Portanto, é necessário uma regulação internacional de nanoproductos, pois mesmo já existindo regulação da nanotecnologia em alguns países, não se garante que nanoproductos não adentrem seus territórios.

Segundo Weinberg (2009), são necessárias medidas aperfeiçoadas de prevenção dos efeitos danosos das substâncias químicas à saúde das crianças, mulheres grávidas, populações férteis, idosos, trabalhadores e demais grupos vulneráveis e ambientes suscetíveis, pois alguns progressos têm sido alcançados no gerenciamento de substâncias químicas, mas esse progresso não tem sido suficiente em nível global, e em todas as regiões do mundo o meio ambiente continua a ser afetado pela contaminação do ar, da água e do solo, o que prejudica a saúde e o bem-estar de milhões de pessoas.

Com ausência de uma regulamentação científica, legal ou social específica referente a Nanotecnologia no Brasil e no resto do mundo, os investimentos públicos e privados são utilizados basicamente para acelerar a pesquisa e o desenvolvimento de novos processos e aplicações. Com isso, acaba sendo para o Brasil um desafio gigantesco, não apenas na seara legal, mas essencialmente na seara da economia, social e política. Até a presente data, somente há um recente e inédito pré aprovado Projeto de Lei nº 880, que ainda é merecedor de algumas inclusões e alterações, a fim de contribuir exclusivamente para um cenário mais qualificado de um assunto de suma importância como é a nanotecnologia.

Cabe à comunidade avaliar continuamente as tecnologias em desenvolvimento nos laboratórios do ponto de vista do seu potencial de risco, buscando conscientemente soluções e alternativas que eliminem ou minimizem os possíveis danos ao meio ambiente ou à saúde, principalmente daqueles que manipulam nano-partículas em laboratórios (QUINA, 2004).

Na verdade, deve haver um equilíbrio entre o desejo por novas tecnologias e a preocupação com os riscos que isso envolve. É com base nisso que o estudo bibliográfico foi realizado, que evidentemente, não tem a intenção de esgotar o assunto e sim buscar informações que possam dar uma ideia geral da situação atual e futura, assim como algumas possibilidades do que fazer enquanto indivíduos e sociedade

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Fazer um levantamento bibliográfico da aplicação da nanotecnologia no meio ambiente, buscando trazer informações sobre esta tecnologia, sua implementação e as perspectivas futuras.

2.2 Objetivo Específico

Pretende-se neste estudo: abordar sobre nanotecnologia e a importância das pesquisas sobre essa área, especialmente no Brasil.

- Conhecer a história da nanotecnologia.
- Identificar os tipos de matérias que foram criadas a partir da manipulação dos átomos e outras que sofreram mudanças no decorrer dos avanços na ciência e pesquisa.
- Conhecer e identificar a projeção do Brasil frente à Nanotecnologia e suas pesquisas.
- Estudar o impacto da Nanotecnologia sobre outras políticas nacionais.

3 JUSTIFICATIVA

Este estudo se propõe a auxiliar no melhor entendimento sobre a nanotecnologia, que está avançando de uma maneira muito rápida, que até o momento, os cientistas não podem contestar ou quiçá ainda não possuem todas as informações e os recursos necessários para conter a sua inovadora tecnologia.

Alguns questionamentos sobre a Nanotecnologia e suas implicações na área da Engenharia Ambiental e respostas foram levantados no decorrer da revisão bibliográfica tais como:

- Quais são os impactos causados pelas partículas nano-estruturadas na saúde e no meio ambiente?

R: Os nanomateriais oferecem grandes riscos. Isso porque eles têm propriedades e comportamentos tão diversos que é impossível fazer uma avaliação genérica de seus riscos à saúde e ao meio ambiente.

- E no campo social, as inovações vão servir para a sociedade como um todo? Ou irão aumentar ainda mais as diferenças?

R: A princípio as inovações vão servir sim para a sociedade como um todo, porque o objetivo dos produtos produzidos pela Nanotecnologia é que eles sejam melhores do que os convencionais, com processos mais eficientes e sustentáveis, nos quais menos insumos sejam necessários, com melhor qualidade e sem que deixe de lado as considerações com os seus impactos econômicos, sociais e ambientais. Entretanto, provavelmente irá aumentar as diferenças no campo social, devido ao aumento do desemprego que gerará quando implementado nas empresas a nanotecnologia, pelo fato de haver máquinas tecnológicas mais modernas que substituirão a mão de obra manual.

- Quem regula e impõem limites ao seu desenvolvimento?

R: Atualmente só há um pré-aprovado Projeto de Lei nº 880, que visa estabelecer nada mais que o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados no Brasil. Por enquanto, não há qualquer exigência legal de rotular nanomateriais. Para evitar conflitos com as indústrias e fazer de conta que estão agindo, os governantes têm deixado que as empresas e instituições se

autorregulem, já que uma regulamentação adequada poderia comprometer o ritmo de pesquisas e os investimentos.

Por conseguinte, o presente trabalho justifica-se, pois tem como propósito a compilação e discussão de informações publicadas mundialmente sobre os impactos que os nanomateriais podem apresentar à saúde e ao meio ambiente, como também busca obter informações que auxiliem na elucidação de questionamentos sobre nanotecnologia, com objetivo de possibilitar que o indivíduo e a sociedade possam adquirir o conhecimento sobre a Nanotecnologia, respectivamente com as suas vantagens e desvantagens. Além disso, auxiliá-los para uma tomada de decisão, caso queiram implementar nanotecnologia nas suas empresas ou mesmo consumir os produtos que contém nano-escala.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 História da Nanotecnologia Mundial.

O mundo atual tem recebido inúmeras invenções e inovações diariamente nas mais diversas áreas, que não dá tempo suficiente de assimilá-las e por em prática todas elas em curto prazo.

A velocidade das transformações é tal que nem mesmo com os meios de comunicação e informação avançados, conseguem fazer o acompanhamento desta evolução. Portanto, uma visão histórica dos acontecimentos pode ser esclarecedora, dado que os principais fatos estão contextualizados em ordem cronológica.

4.1.1 Principais Acontecimentos

Em 1867, James Clerk Maxwell mencionou pela primeira vez o conceito de nanotecnologia, sem fazer uso deste termo. Ele descreveu a possibilidade de construir uma nano máquina, ou seja, um dispositivo de dimensões atômicas que seria capaz de manipular moléculas individualmente, que foi denominada de Demônio de Maxwell (SERRELI, et al., 2007).

Albert Einstein publicou um artigo no ano 1905 estimando que o diâmetro de uma molécula de açúcar seria em torno de um nanômetro. Com este artigo Einstein ganhou em 1921 o Prêmio Nobel da Física (MORAN, 2011).

Erwin Wilhelm Muller, em 1936 inventou o microscópio de emissão de campo (Instrumento baseado no efeito de emissão de campo de elétrons), este microscópio tem a capacidade de ampliar até um milhão de vezes a matéria. Este foi o primeiro dispositivo que tornou possível a visualização das superfícies de materiais numa escala quase molecular. Em 1951, Muller inventou o microscópio iônico de campo (Instrumento que usa um campo elétrico para ionizar átomos de um segmento microscópico), este microscópio foi um aperfeiçoamento do microscópio anterior permitindo a ampliação até dez milhões de vezes, obtendo uma resolução em escala atômica. Em 11 de outubro de 1955, Erwin Müller e seu

aluno de pós-graduação, K. Bahadur, foram os primeiros cientistas na história da humanidade que conseguiram observar um átomo fazendo uso desta tecnologia (DAVIDSON, 2004; MELMED, 2002).

Em 1959, Arthur von Hippel, do Instituto Massachusetts of Technology (MIT) publicou o importante livro: *Ciência Molecular e Engenharia Molecular*, introduzindo muitos conceitos importantes sobre a manipulação de substâncias em escala molecular, incluindo a fabricação de nanodispositivos (são objetos fabricados pelo homem com estruturas internas as quais têm ao menos uma dimensão física em escala nanométrica) (ENGELMANN; MARTIN, 2017).

Neste mesmo ano, os primeiros conceitos de nanotecnologia foram mencionados em uma palestra intitulada “Há muito mais espaços lá embaixo” (There’s plenty of room at the bottom) pelo físico americano Richard Feynman. Ele descreveu um processo para manipular átomos e moléculas individuais que podia ser desenvolvida através de um conjunto de ferramentas precisas. Explorou também a ideia de escrever toda a enciclopédia britânica na cabeça de um alfinete. Esta palestra rendeu-lhe o prêmio Nobel de Física em 1965 (FEYNMAN, 1960; FERNANDES e FILGUEIRAS, 2008).

Em 1966, foi lançado o filme “*Fantastic Voyage*” (Viagem Fantástica). O Filme relata a estória de um grupo de médicos que embarcam numa espécie de submarino para serem miniaturizados até a escala nanométrica, com o intuito de entrar no corpo de um pesquisador, para realizar uma cirurgia extremamente delicada e precisa em seu cérebro. Pela primeira vez na história se considerou isso como uma possibilidade (FLEISCHER, 1966).

Em 1974, o Professor Norio Taniguchi, cunhou o termo “nanotecnologia” como “a transformação de, separação, consolidação, e deformação dos materiais por um átomo ou por uma molécula” (GIERGIEL, 2006).

Neste mesmo ano, Ari Aviram e Phillip Seiden da IBM, desenvolveram a primeira patente de eletrônica molecular (Eletrônica molecular: pesquisa o uso de moléculas em substituição aos componentes eletrônicos atuais) ao utilizar moléculas isoladas em operações de propagação de sinais, demonstrando a possibilidade da auto-organização de átomos e moléculas (GAMA, 2013). Em 1981, Gerd Binnig e Heinrich Rohrer, do laboratório de pesquisas da IBM Zurich Research Lab inventaram o microscópio de tunelamento (Microscópio de

tunelamento: é um instrumento que permite obter imagens de átomos e moléculas ao nível atômico) “Scanning tunneling microscope” (STM). Este microscópio utiliza uma pequena caneta para “sentir” a superfície de objetos muito pequenos que os demais microscópios convencionais ou mesmo poderosos microscópios eletrônicos não conseguem visualizar. “Ele é amplamente utilizado nas pesquisas industriais, que são fundamentais para obter imagens de escala atômica de superfícies metálicas”. Em 1986, Binnig e Rohrer receberam o Prêmio Nobel de Física por esta invenção (DOS SANTOS, 2010; GALEMBECK, et al., 2013).

Neste mesmo ano, Erick Dressler publica o primeiro artigo em nanotecnologia molecular “Molecular engineering: an approach to the development of general capabilities for molecular manipulation”, estabelecendo as bases para a engenharia molecular e dos nanosistemas (são um tipo de nanomateriais híbridos, que podem possuir natureza inorgânica, orgânica, ou ambas) que os podem produzir (MONIZ, 2013).

Em 1985, os cientistas Robert Curl Jr. e Richard Smalley da Rice University, Houston, Texas, Estados Unidos, juntamente com Sr Harold Kroto da University of Sussex Brighton, do Reino Unido, anunciaram a descoberta de uma molécula batizada com o nome de *buckminsterfullerene* em homenagem ao arquiteto norte-americano Buckminster Fuller.

Sendo Buckminster Fuller inventor também do domo geodésico (é uma estrutura arquitetônica apresentando extraordinária resistência e leveza, devido ao seu formato esférico), estrutura de aparência semelhante à da molécula alotrópica (é a propriedade que alguns elementos químicos têm de formar uma ou mais substâncias simples diferentes. Por exemplo, o diamante e o grafite são formas alotrópicas do carbono) de carbono.

Estes pesquisadores descobriram novas formas do elemento carbono, chamadas fulerenos (são moléculas de carbono estruturadas na forma de “gaiolas”, ou esferas ocas, possuindo forma fechada em si. São capazes de “aprisionar” átomos ou moléculas de gases em seus interiores), cujos átomos estão dispostos em conchas fechadas.

O número de átomos de carbono nas conchas pode variar, entretanto, a disposição mais frequente, são aglomerados de 60 átomos (C₆₀), por esta razão novas estruturas de carbono tornaram-se conhecidas. Em 1996, Curl, Smalley e Kroto, em conjunto, ganharam o Prêmio Nobel de Química (ROCHA FILHO, 1996).

Em 1986, Gerd Binnig, Christoph Gerber, e Calvin Quate (IBM Zurich Research Lab) inventaram a microscopia de força atômica (AFM - instrumento que permite a visualização das imagens dos átomos, bem como transmite informações sobre a homogeneidade do material e sua natureza elétrica e magnética) . O AFM (microscopia de força atômica) não só demonstra imagens da superfície em resolução atômica, mas também mede forças infinitesimais em escala nano-Newton (é uma unidade de medida de força equivalente a 10^{-9} N).

Este microscópio está sendo utilizado para resolver problemas tecnológicos e materiais em uma ampla gama de tecnologias que afetam os eletrônicos, as telecomunicações, as indústrias biológicas, químicas, automotivas, aeroespacial e de energia (DOS SANTOS, 2010; GALEMBECK, et al., 2013).

Neste mesmo ano, Eric Drexler publicou o livro “Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology”. Neste livro, Drexler pressupõe uma montadora universal, sendo um dispositivo, que segundo as instruções de um programador, é capaz de construir átomo a átomo qualquer máquina concebível pela mente humana. Além disso, tem uma visão a longo prazo da nanotecnologia, prevendo o aparecimento de nanodispositivos de regeneração celular que poderão garantir a regeneração dos tecidos e a imortalidade. Também em 1986, fundou o Instituto Foresight, que pretendia educar a sociedade sobre os benefícios e riscos da nanotecnologia. Os impactos de suas primeiras previsões permanecem no inconsciente coletivo, ainda hoje. Já em 1991, Drexler é a primeira pessoa no mundo a obter um doutorado em nanotecnologia molecular do Instituto Massachusetts of Technology - MIT (DREXLER, 1987; DE LIMA, 2008; DREXLER, 1991).

Em 1987, Jean-Marie Lehn publicou “Química supramolecular – Escopo e perspectivas, moléculas – supermoléculas – Dispositivos moleculares”, e com isso ganhou o prêmio Nobel de Química no mesmo ano. O estudo da química supramolecular foca nos arranjos moleculares e nas ligações intermoleculares, principalmente de compostos de grande complexidade, formados a partir da associação de duas ou mais espécies químicas (PEREIRA; WINCKLER; TEIXEIRA, 2016).

Neste mesmo ano, o termo grafeno foi mencionado pela primeira vez, porém apenas em 1994 que a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

definiu oficialmente este termo. O grafeno foi isolado e identificado em 2004 por Andre Geim e Konstantin Novoselov, devido a isso ganharam em 2010 o Prêmio Nobel da Física. Eles conseguiram isolar pequenos fragmentos esfoliados do grafite e ao analisarem perceberam que se tratava de uma estrutura de única camada de átomos de carbono (PASTRANA-MARTÍNEZ, et al., 2013; DE JESUS, FREIRE e GUIMARÃES, 2012).

Em 1988, a empresa Ego Pharmaceuticals Pty Ltd. (Australia) realizou a primeira utilização de dióxido de titânio microfino (é um material que contém dimensões na ordem dos micrômetros (μm)) em um protetor solar cosmeticamente aceitável. Desde essa época, ele ganhou popularidade como um agente de proteção solar e foi incorporado em muitas outras marcas de protetores solares. Recentemente o óxido de zinco microfino foi introduzido como um agente alternativo de bloqueio físico (ADENEY e OPPENHEIM, 2011).

Em 1989, David Forrest (MIT) publicou a “Regulação do desenvolvimento da nanotecnologia”. Este artigo identificou quatro fases específicas de controles regulamentares para um cenário plausível. A primeira fase dita normas de segurança sendo desenvolvidas em paralelo com a tecnologia. A segunda fase propõe o monitoramento preciso de desenvolvedores chave por uma agência reguladora assegurando o cumprimento de normas de segurança. A terceira fase mostra que a pesquisa pode ser feita em laboratórios seguros, podendo ser desenvolvida também por qualquer pessoa, desde que enviado para análise de risco antes da produção. Finalmente a quarta fase revela que as instalações seguras não são mais necessárias, porém os controles reguladores ainda são. Forrest demonstrou um grau elevado de previsão, especialmente tendo em conta que a nanotecnologia se encontrava numa fase muito inicial de desenvolvimento, no momento em que o artigo foi escrito (FORREST, 1989; CHARRIÈRE e DUNNING, 2014).

Em 1990, Donald Eigler e Erhard Schweizer do laboratório da IBM escreveram a sigla do laboratório (IBM) com 35 átomos de xenônio arranjados sobre uma superfície de níquel, demonstrando que, com a manipulação nessa escala, as moléculas podem ser fabricadas, ou modificadas, átomo por átomo (MARTINS, 2009).

Na década de 1990, para gerenciar o desenvolvimento da nanotecnologia, o Japão, a China e os Estados Unidos iniciaram novos regimes regulatórios. O Japão

anunciou seu compromisso formal de financiamento da pesquisa em nanotecnologia e a China iniciou o seu projeto “Climbing Project on Nanometer Science”. No ano seguinte, a National Science Foundation (NSF), iniciou e financiou o primeiro programa de nanotecnologia federal dos Estados Unidos (síntese e processamento de nanopartículas). A partir destas iniciativas, foram criadas novas agências e novos regulamentos relacionados ao financiamento, desenvolvimento e aplicação da nanotecnologia (DUNNING, 2010; GALEMBECK e RIPPEL, 2004).

Em 1991, Sumio Iijima descobriu os nanotubos de carbono (Nanotubos de carbono: são alótropos do carbono com uma nanoestrutura cilíndrica) que apresentam extraordinárias propriedades mecânicas, elétricas e térmicas. Este material tornou-se chave em dispositivos ultrafinos (dispositivo extremamente fino quando comparado com outro semelhante de mesma utilidade) , por causa de suas características elétricas únicas e sua estrutura extremamente fina em escala nanométrica (AJAYAN, CHARLIER e RINZLER, 1999).

Em 1993, o ex-presidente dos EUA, Bill Clinton, por decreto criou o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC), conferindo-lhe competência para coordenar ciência, espaço e políticas de tecnologia e as suas atividades de investigação científica relacionados a todo país (SARGENT JUNIOR e SHEA, 2014).

Neste mesmo ano é criado o primeiro laboratório de pesquisas em nanotecnologia, nos EUA, na Rice University. Além disso, Warren Robinett e R. Stanley Williams, criaram um sistema de realidade virtual (é uma tecnologia de interface avançada entre um usuário e um sistema computacional) conectado a um microscópio de tunelamento que permite ao usuário ver e tocar átomos, denominado “The NanoManipulator” (GRANADA, 2011; ROBINETT, et al., 1993).

Em 1998, o grupo do pesquisador C. Dekker, Delft University of Technology, criou um transistor a partir de um nanotubos de carbono. Este fato representou um importante passo para a eletrônica molecular (TANS, VERSCHUEREN e DEKKER, 1998).

Em 1999, tendo em vista a necessidade de se estruturar uma base fundamentada de dados para orientar os cidadãos e decisões governamentais, o Foresight Institute criou as Diretrizes de Prospecção (Foresight Guidelines), com o objetivo de guiar o desenvolvimento responsável e produtivo da nanotecnologia,

trabalhando com as potenciais consequências da nanotecnologia de maneira aberta e cientificamente precisa (JACOBSTEIN e REYNOLDS, 2004).

Neste mesmo ano, o NSTC publicou o livro “Nanotechnology Research Directions: Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade”, revelando várias necessidades de pesquisa em nanotecnologia e listando recomendações feitas pelos especialistas consultados para melhorar as políticas federais de apoio à pesquisa (ROCO, WILLIAMS e ALIVISATOS, 1999).

Ainda em 1999, Manoharan & Eigler descobrem a miragem quântica (pode ser expressada como um veículo para transferência de dados em escala nanométrica), tal fenômeno ocorre quando, ao posicionar um átomo magnético em um foco de uma elipse, cria-se uma miragem do mesmo átomo em outro foco, logo verificou-se um possível meio de transmitir informação sem fios.

Neste mesmo ano, James M. Tour da Universidade Rice e Mark A. Reed da Yale, criaram o interruptor molecular (Interruptor molecular: define-se como um conjunto de sistemas moleculares distintos e permite o movimento mecânico quando submetido a um estímulo externo), validando assim a teoria de que os dispositivos de computação em nanoescala podem ser construído a partir de uma única molécula. Além disso, o presidente Bill Clinton anunciou a Iniciativa Nacional para a Nanotecnologia, com o objetivo de acelerar o ritmo de investigação, desenvolvimento e comercialização das aplicações neste campo (BANKINTER, 2006).

Em 2000, o cofundador da Sun Microsystems, Bill Joy, defendeu que os avanços tecnológicos nas áreas de engenharia genética, robótica e nanotecnologia criaram riscos significativos que ameaçavam a própria existência da espécie humana. Esta é considerada agora uma exposição clássica das dimensões éticas destas novas tecnologias, destinadas ao público em geral.

Em 2000, a equipe de Stefan W. Hell, do Instituto Max Planck, desenvolveu uma técnica de microscopia baseada na fluorescência batizada com o nome de microscopia de perda por emissão estimulada (Dispositivo que utiliza a irradiação a laser para ocasionar a fluorescência no ponto a ser observado) - STED Stimulated Emission Depletion. Esta técnica elevou as possibilidades do microscópio óptico, reduzindo os limites de resolução conhecidos. Devido a isso, foram agraciados com o prêmio Nobel de Química em 2014 (THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES, 2014).

No início do século XXI, os EUA lançam uma iniciativa nacional de apoio à Nanotecnologia com investimentos na ordem de 400 milhões de dólares (GRANADA, 2011).

Em 2001, foi fundada a Nano Québec, uma organização sem fins lucrativos, financiada por verbas do governo federal e provincial, com a missão de fortalecer a inovação em nanotecnologia e garantir um crescimento econômico sólido e sustentado para o Quebec e o Canadá (GALEMBECK e RIPPEL, 2004).

Neste mesmo ano, J. Fraser Stoddart apresenta a palestra “The Nature of the Mechanical Bond” no Nobel Centennial Symposia “Frontiers of Molecular Science”, como reconhecimento ao seu trabalho em nanotecnologia (MANOR, 2001).

Em 2002, foi fundado o Centro de Nanotecnologia Responsável (CRN) com os objetivos de aumentar a conscientização sobre os benefícios, os riscos e as possibilidades de uso responsável da nanotecnologia avançada. O CRN objetiva agilizar a análise aprofundada das implicações ambientais, humanitárias, econômicas, militares, políticas, sociais, médicas e éticas de fabricação molecular e ajudar na criação e implementação de planos para o uso responsável dessa tecnologia transformadora (LOCATELLI, et al., 2004).

Com sede em Ottawa, o Grupo de Ação em Erosão, Tecnologia e Concentração (ETC Group) publicou no início de 2003 o relatório: “From Genomes to Atoms: The Big Down”. As preocupações da ETC se estenderam de direitos de propriedade intelectual a concentração do controle societário, guerra biológica, e a convergência de tecnologia em biologia sintética (MNYUSIWALLA, DAAR e SINGER, 2003).

Em 2004, foi fundado o Conselho Internacional de Nanotecnologia (ICON), consistindo uma parceria entre as indústrias da nanotecnologia, governo, academia e outras organizações selecionadas. Sua missão é desenvolver e divulgar informações sobre nanotecnologia, seus potenciais riscos ambientais e à saúde, promovendo assim a redução de riscos e maximizando o benefício social (PELLEY e SANER, 2009).

Neste mesmo ano, a Royal Society e a Royal Academy of Engineering publicaram um relatório correspondente a 2003 “Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties”. Trata-se de uma resposta ao pedido do Governo do Reino Unido para um estudo independente da nanociência

(é o estudo e o conhecimento das técnicas e aplicações das nanotecnologias) e da nanotecnologia (THE ROYAL SOCIETY, 2004).

Em 2005 cientistas da Universidade Rice, Estados Unidos construíram o menor carro do mundo, medindo apenas 4x3 nanômetros, sendo ligeiramente mais largo que uma fita de DNA e cerca de 20.000 vezes menor que a espessura de um fio de cabelo humano (GUPTA e SINGH, 2014).

Em 2007, a UNESCO publicou o livro: *Ética e política da nanotecnologia* “Nanotechnologies, Ethics and Politics”. Esta publicação apresenta investigações atuais da nanotecnologia, suas repercussões éticas, jurídicas, políticas, bem como, sobre os impactos à saúde e ao meio ambiente decorrentes da utilização de nanomateriais. Propõe temas como: a melhor forma de controlar e regular materiais em nanoescala (é a medida entre 1 – 100 nanômetros (nm)) ; preocupações em torno do uso militar e das aplicações biomédicas da nanotecnologia; oportunidades de cooperação internacional e aplicação da nanotecnologia para as necessidades dos países em desenvolvimento (HENK, 2007; KELTY, 2007).

Em 2008, o Consumers Council of Canada publicou o relatório: “Nanotechnology and Its Impact on Consumers”, que foi elaborado para os consumidores do Canadá, com a intenção de proporcionar informações objetivas sobre nanotecnologia. Realizou-se uma pesquisa com representantes públicos e consumidores canadenses e se constatou que 70% não tinha consciência da nanotecnologia. Apesar do desconhecimento, 58% se mostravam otimistas em relação à tecnologia e tinham algumas preocupações sobre seus riscos (PEREIRA; WINCKLER; TEIXEIRA, 2016).

Em 2009, o Conselho da União Europeia atualizou a regulamentação dos cosméticos, passando a exigir dos fabricantes de novos produtos dessa categoria que contenham nanomateriais, a notificação à Comissão e o fornecimento de informações, seis meses antes do lançamento do produto no mercado europeu (THE EUROPEAN PARLIAMENT, 2009).

Em 2010, o governo do Reino Unido publicou a estratégia “Nanotechnologies Strategy: Small Technologies, Great Opportunities”. A estratégia foi publicada como resposta do Governo à Comissão Real sobre o relatório da Poluição Ambiental em 2009, “Novos materiais no ambiente: o caso da nanotecnologia”. Ele sugere a criação de um site para informar o público sobre o trabalho do governo em

nanotecnologia, um grupo colaborativo em nanotecnologia, um Grupo de Liderança Ministerial em nanotecnologias, e um novo sistema de informação industrial dos nanomateriais e produtos que os contêm (HM GOVERNMENT, 2010).

Em 2011, a Environmental Protection Agency (EPA) dos EUA introduziu uma nova regra sobre a utilização dos nanotubos de carbono de paredes múltiplas devido aos riscos que apresentam. A EPA, determinou a notificação prévia de 90 dias para a importação, fabricação ou processamento de nanotubos em casos de novos usos destes materiais.

Em 2012, a EPA proibiu a fabricação de nanopartículas de óxido de titânio de potássio com menos de 100 nm de diâmetro. A razão dada para esta decisão são riscos inaceitáveis para a saúde humana em caso de inalação (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2012).

Em 2013 o Comitê Científico dos Riscos para a Saúde Emergentes e Recentemente Identificados “CCRSERI” (European Commission and its non-food Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks “SCENIHR”) publicou uma avaliação dos riscos à saúde associados com a exposição ambiental a nanopartículas de prata. Essas partículas são nanomateriais comuns usados em produtos de consumo, devido às suas propriedades antibacterianas (SCENIHR, 2004).

Em 2014, o Governo da Bélgica anunciou a criação de um registro nacional de nanomateriais que entrou em vigor em janeiro de 2016 para os “nanos” na forma pura (nanopartículas formadas por um elemento, por exemplo, o ouro) e em janeiro 2017 para “nanos” de composição mista ou seja nanopartículas formada por mais elementos (DELAFORTRIE e SPRINGAEL, 2014).

Em 2015, uma equipe internacional da China descobriu uma variante estrutural do grafeno, batizada por eles de pentagrafeno. A grande vantagem dessa nova forma é que aparentemente pode ser um semicondutor, diferentemente do grafeno que apresenta grande deficiência nessa propriedade, o que dificulta a aplicação na eletrônica (ZHANG, et al.).

Em 2016, foi publicado na revista Science o artigo “Weaving of organic threads into a crystalline covalent organic framework”. O artigo trata da experiência de uma equipe de pesquisadores do Departamento de Energia do Lawrence Berkeley National Laboratory (Berkeley Lab., EUA) e da Universidade da Califórnia, que produziram o primeiro “tecido” molecular. Este nanomaterial possui

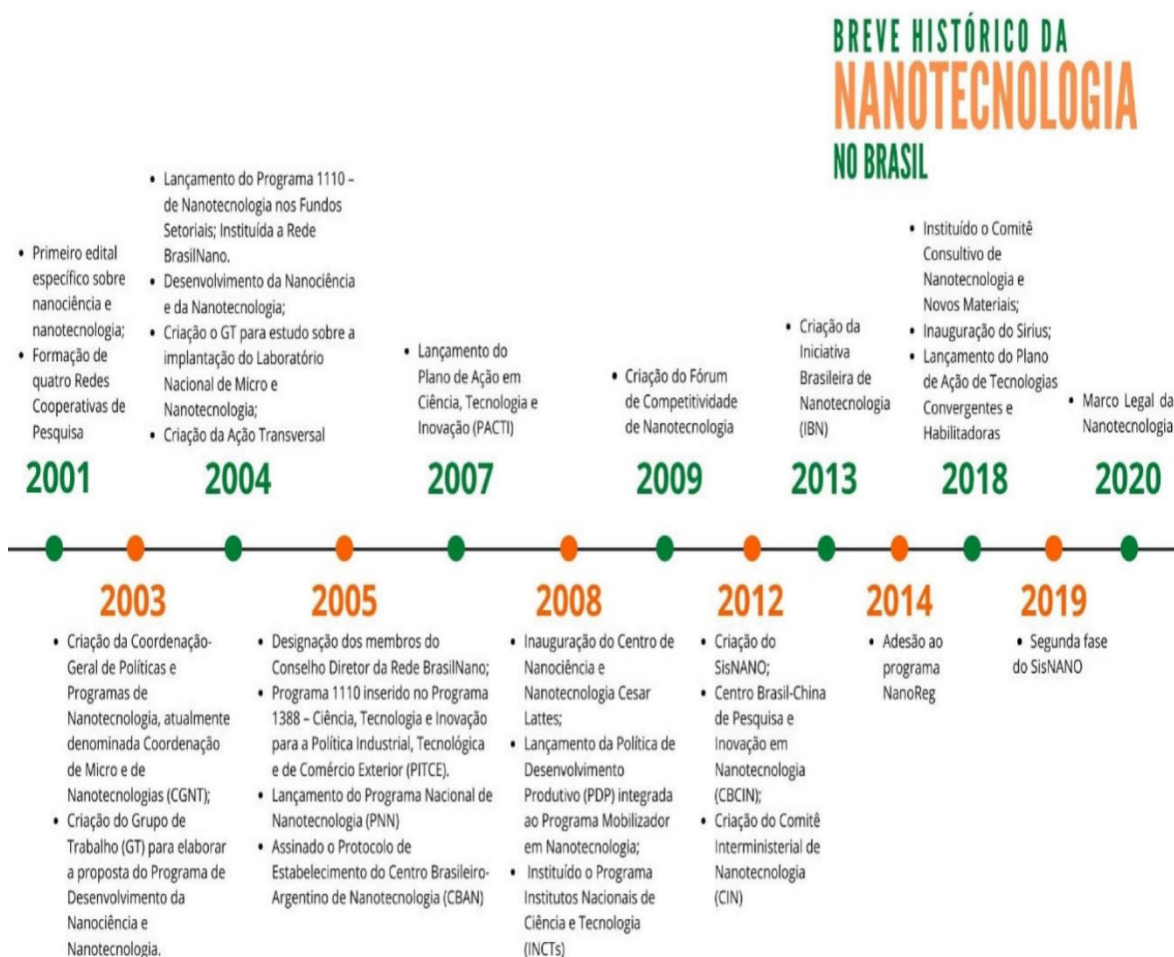
propriedades físicas de força e flexibilidade excelentes, é composto por longas moléculas orgânicas que são posicionadas na forma helicoidal, e assemelha-se com um têxtil (YAGUI, et al., 2016).

Nos últimos anos, a nanotecnologia vem sendo amplamente enfatizada, diversas novas pesquisas têm sido publicadas, abrangendo as esferas tecnológicas, sociais e ambientais. Na área tecnológica destaca-se o expressivo número de publicações envolvendo tópicos como a utilização na eletrônica, o armazenamento de energia, óptica, dispositivos fotovoltaicos (São dispositivos que convertem energia solar em energia elétrica) , fotocatalise (é o aumento da velocidade de uma fotoreação (reação química ocasionada pela luz) pela ação de um catalisador) , além de aplicações biomédicas como nanomedicamentos (são cápsulas de tamanho minúsculo capazes de conduzir uma molécula ativa a um local preciso, onde a mesma é necessária) e biossensores (são dispositivos que se incorporam em uma substância para poder medir de modo seletivo determinadas substâncias) . Na esfera social e ambiental vêm sendo discutido as implicações desta ciência, seus benefícios e suas consequências, mesmo que ainda desconhecidas (FU, et al., 2004; FREY, 2009; TANG e CHENG, 2013; CAVICHIOLO, 2010).

4.2 História e Atualidade da Nanotecnologia no Brasil.

As primeiras empresas brasileiras a utilizarem nanotecnologia, começaram a atuar entre os anos de 1999 e 2000, quando os primeiros produtos de consumo nanotecnológicos começaram a surgir no mercado (FERNANDES, FILGUEIRAS, 2008)". Nos anos 2000 e 2001, a nanotecnologia ganhou notoriedade mundial com o lançamento dos programas "*National Nanotechnology Initiative*" pelo Estados Unidos, a criação do Comitê Nacional para Nanociência e Nanotecnologia e do programa "*National Nanotechnology Development Strategy*" 2001-2010 pela China (FERREIRA, 2018).

Figura 2 - Marcos da história da Nanotecnologia no Brasil.



Fonte: (DIAS, et al.,2021)

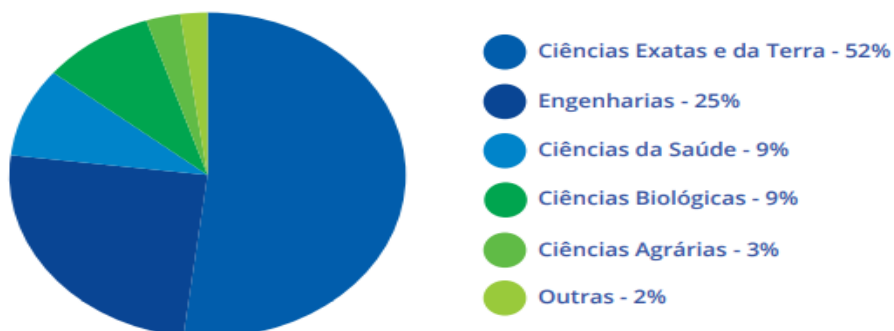
Nos últimos 16 anos, cerca de R\$ 600 milhões dos recursos públicos foram investidos em nanotecnologia, valores muito inferiores quando comparados ao investimento mundial (PLANODEAÇÃO, 2019). “No Projeto de Lei Orçamentária Anual 2020 (PLOA2020), o orçamento previsto para nanotecnologia é de R\$2.200.000,00 com a estimativa de chegar a R\$2.800.000,00 até o final do ano (DIAS, et al., 2021)”.

Profissionais de diversas áreas, principalmente químicos, físicos, engenheiros, biólogos, farmacêuticos, entre outros fizeram uma busca realizada, em setembro de 2019, no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil (DGP)¹³, do CNPq, foram identifica das 2.284 linhas de pesquisa contendo o descritor “nano” no nome do grupo de pesquisa, no nome da linha de pesquisa ou nas palavras-

chave. Em um levantamento anterior, realizado em novembro de 2014, com os mesmos parâmetros de busca, foi verificado que havia 2.153 linhas de pesquisa, o que demonstra um aumento da atividade científica em nanotecnologias.

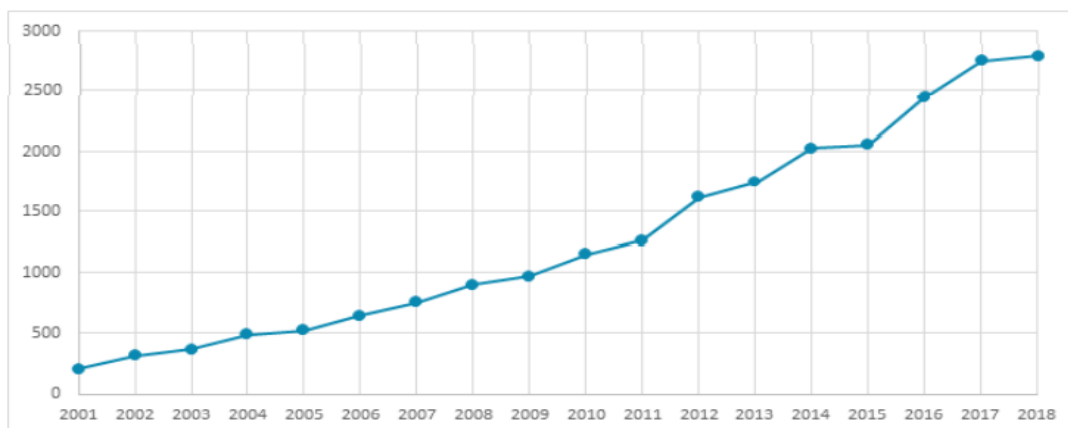
Nas linhas de pesquisa identificadas por meio do levantamento realizado no DGP e classificadas de acordo com as principais áreas de atuação, foi verificado que 52% destas estão relacionadas às Ciências Exatas e da Terra, seguidas da área de Engenharias com 25%, Ciências da Saúde com 9%, Ciências Biológicas com 9% e Ciências Agrárias com 3% (Figura 3). Apesar de novas linhas de pesquisa terem sido criadas entre 2014 e 2019, a distribuição por área foi a mesma, uma vez que, no levantamento de 2014, o percentual de linhas de pesquisa com foco em cada uma dessas áreas permaneceu praticamente o mesmo.

Figura 3 - Classificação das Linhas de Pesquisa em nano por área predominante. Veja a figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC a partir dos dados extraídos do Diretório de Grupos de Pesquisa do Brasil, do CNPq.

Figura 4 - Artigos publicados sobre nanotecnologias por pesquisadores brasileiros entre 2001 e 2018. Veja a figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC a partir dos dados extraídos da base de dados Scopus. Descritor utilizado: nano*. Levantamento realizado em setembro de 2019.

A partir de busca realizada na base de dados Scopus14, utilizando-se o descritor “nano*”, foram identificados 23.033 artigos publicados por pesquisadores brasileiros entre 2001 a 2018. Como pode ser observado na Figura 4, tem sido crescente o número de artigos publicados na área de nanotecnologia no decorrer dos anos, mostrando o avanço da atividade científica na área.

4.2.1 Plano de Ação de CT&I para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras

O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) conforme preceitua o inciso IV, do art. 1º, do Anexo I, do Decreto nº 9.677, de 02 de janeiro de 2019. Com efeito, o MCTIC elaborou uma Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (Encti 2016-2022). Essa Estratégia é o principal instrumento de orientação estratégica de médio e longo prazo para implementação de políticas públicas na área de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) e tem como objetivo principal alçar o País a um novo patamar de desenvolvimento, por meio da construção de uma sociedade do conhecimento. Entre os desafios nacionais para a CT&I, está incluído as Tecnologias Convergentes e Habilitadoras. (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).

O Plano de Ação em CT&I para nanotecnologia apresenta seis ações que têm como objetivo principal propiciar um ambiente de interação entre o setor

industrial e o setor acadêmico, de forma a congregar competências que deem suporte a um consistente e continuado desenvolvimento de um ecossistema da nanotecnologia para o Brasil.

Figura 5 - Representação do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) e do Ecossistema de Inovação Brasileiro, responsáveis por propor, desenvolver, produzir e absorver as soluções tecnológicas geradas para cada um dos temas estratégicos do Plano de Ação. Veja figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022.

Dentre as ações deste Plano, destacam-se o estabelecimento de uma base de dados científicos capazes de:

- subsidiar a criação de um marco legal para a nanotecnologia e que, conseqüentemente, dê o suporte jurídico necessário para aqueles que a desenvolvem;
- a implementação de uma cadeia de produção baseada em diretrizes de nanossegrurança, cujo intuito é garantir processos e produtos seguros à saúde humana e animal e ao meio ambiente;

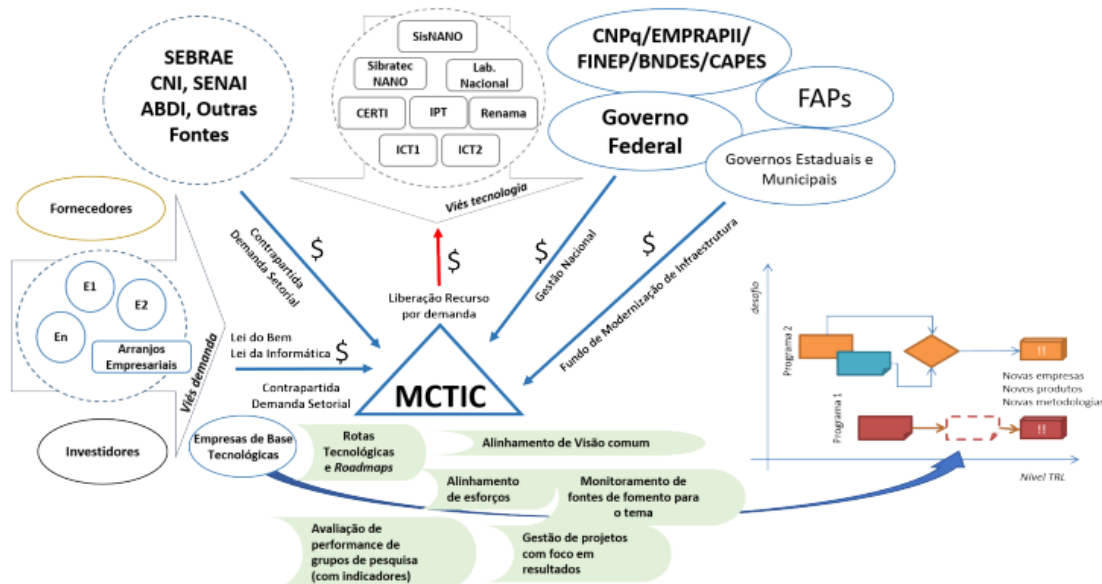
- a formação de recursos humanos, capaz de inculcar uma cultura não somente científica, mas também empreendedora no estudante e no técnico;
- a criação de centros de inovação, que sejam um ambiente propício de interação entre os vértices da trílice hélice – empresa, academia, governo;
- e, por último, a intensificação da cooperação científico-tecnológica com países expoentes da nanotecnologia, capaz de favorecer um intercâmbio propositivo, equilibrado e benéfico para ambos os lados.

4.2.2 Estratégia Orçamentária Financiamento

Em face da estratégia de impulsionar e fortalecer a relação entre academia e indústria, a captação orçamentária de fontes externas deve ser potencializada, além de uma aplicação eficiente de recursos, utilizando a abordagem impulso tecnológico/pressão da demanda (technology-push/demand-pull), baseado na priorização de atividades e competências regionais (smart specialisation⁴), em tecnologias estratégicas e críticas. A estratégia orçamentária da SEMPI/MCTIC (Figura 6) reforça que a geração de conhecimento (na academia) deve ser direcionada pela demanda (da indústria), conforme ressalta a literatura científica, ao afirmar que “o foco em apenas um dos modelos (ou technology-push ou demand-pull) é prejudicial, conduzindo à inutilidade de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em diversos setores e/ou às ameaças de competidores baseados em novas tecnologias”.

Figura 6 - Estratégia de captação e alocação de recursos. Veja a figura abaixo.

Para o desenvolvimento sustentável das Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, tendo como exemplo a Nanotecnologia.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

4.2.3 Eixos de Desenvolvimento Sustentável

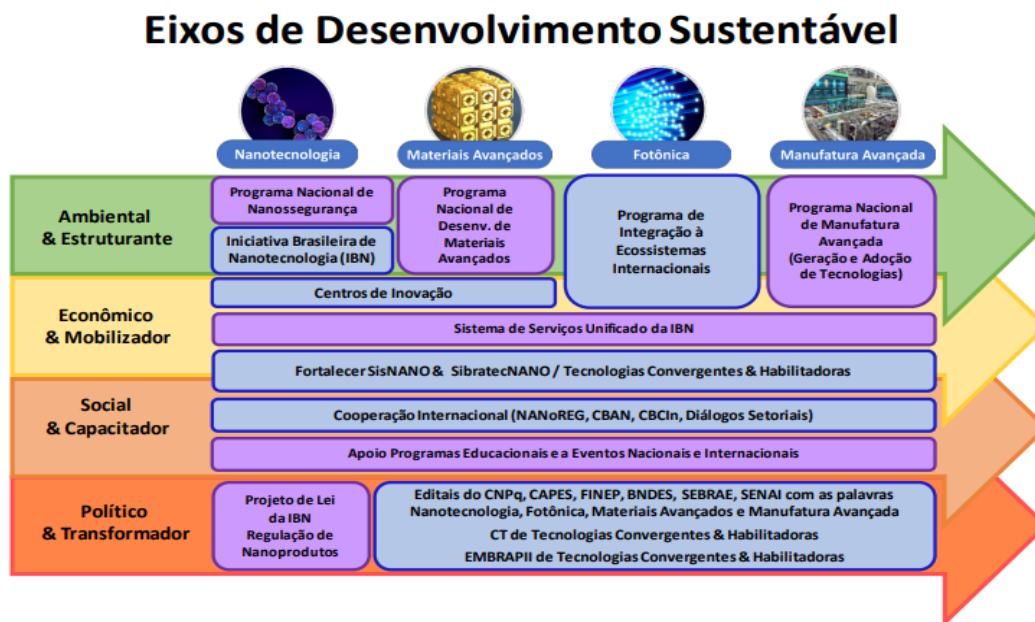
Foi criado pelo MCTIC juntamente com o seus Comitês Consultivos de especialistas os eixos de desenvolvimento sustentável, o quais possuem a função básica de nortear as ações estratégicas a serem executadas para atingir as metas estabelecidas. Cada eixo representa um movimento integrado e conciso para o pleno desenvolvimento no Brasil das Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, em especial da Nanotecnologia, dos Materiais Avançados, da Fotônica e das Tecnologias para Manufatura Avançada. Os eixos são os seguintes:

- (i) Eixo Ambiental e Estruturante: ações para a construção do ambiente inovador natural e viável. Neste caso, concentram-se em ações que balizam e fundamentam os esforços de consolidação e fortalecimento dos ecossistemas das Tecnologias Convergentes e Habilitadoras;

- (ii) Eixo Econômico e Mobilizador: ações que facilitam o acesso à infraestrutura dos laboratórios do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNANO), às iniciativas como SibratecNANO e NANoREG, e aos pesquisadores, aproximando o setor produtivo do desenvolvimento de soluções inovadoras. Neste espaço, estão organizadas as ações que auxiliam na construção da ponte entre academia e indústria, produzem retorno econômico e geram inovação;
- (iii) Eixo Social e Capacitador: ações que empoderam a sociedade por meio do desenvolvimento social e comunitário. Nesse espaço, encontram-se as ações educacionais e formadoras de recursos humanos, a premiação por desempenho, e a promoção de eventos que fortalecem a integração entre academia e indústria e que desmistifica e assegura a população em geral sobre o conceito correto das Tecnologias Convergentes e Habilitadoras e seus benefícios;
- (iv) Eixo Político e Transformador: ações que garantam a implementação do desenvolvimento sustentável. Nesse último eixo, são dispostas as ações que sedimentam o conhecimento e efetivam a transformação preconizada nos outros eixos, sobre o qual todos os outros se apoiam para ter sua funcionalidade garantida (Figura 7)

Figura 7 - Eixos de Desenvolvimento Sustentável. Veja a figura abaixo.

Representação das principais políticas públicas e dos programas ministeriais para a área de Tecnologias Convergentes e Habilitadoras organizados por Eixos de Desenvolvimento Sustentável. Em retângulos azuis, as ações já implementadas, e em retângulos roxos, as ações planejadas.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

4.2.4 Principais Desafios

O principal desafio da Nanotecnologia no Brasil, tem raiz educacional e regulatória. Em relação à educação, a carência reside não somente na falta de recursos humanos, mas também na falta de comunicação e divulgação dos benefícios e das vantagens que a Nanotecnologia traz à sociedade (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).. Portanto, o lado educacional tem um papel social relevante a ser alcançado. O que ocorre hoje com a falta de educação social no tema é um grande desalinhamento de ideias e conceitos que muitas vezes pode atrapalhar ou mesmo inviabilizar o desenvolvimento tecnológico, meramente por crenças populares sem fundamento científico-tecnológico.

O Ecosystema tem interesse que o investimento realizado em projetos de Nanotecnologia apresente não só o retorno esperado, mas também a maturidade sustentável desejada, pois existe o interesse latente de outras nações pela

Nanotecnologia brasileira, que, com mais investimento e suporte regulatório/ocupacional/ambiental, seguramente proporcionará maior desenvolvimento e prosperidade para o País.

Abaixo há um sumário dos principais desafios a serem superados no Ecossistema de Nanotecnologia (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).

- financiamento privado limitado para pesquisa e para promover a integração entre universidades e empresas;
- complexidade do ambiente de negócios para a inserção de novos produtos no mercado;
- novas formas de financiamento para o desenvolvimento e transferência de tecnologia e geração de novos produtos;
- dificuldade na importação de matéria-prima básica, equipamentos e insumos de alto valor agregado para empresas e laboratórios;
- melhor compreensão das vantagens competitivas provenientes da Propriedade Intelectual em temáticas de nanotecnologia;
- aumento de estímulos para etapas como a prototipagem, prova de conceito, desenvolvimento de produtos minimamente viáveis (MVP – Minimum Viable Product) e entre outras;
- ampliação da estrutura para transferência de tecnologia e escalonamento; e
- estímulo à interação entre os agentes de desenvolvimento tecnológico em nanotecnologia e representações de fundos de investimento, capitais de risco, investidores anjo, incubadoras, aceleradoras, parques tecnológicos e outros.

4.2.5 O Plano de Ação/2019-2022 em Ciência, Tecnologia e Inovação em Nanotecnologia no Ministério da Ciência e Tecnologia (MCTI) tem como objetivos principais:

- unificar e fortalecer o ecossistema nacional de Nanotecnologia, no âmbito da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN);
- propor uma governança articulada com Ministérios e outros órgãos governamentais;
- dar suporte ao estabelecimento do Marco Regulatório para Nanotecnologia;
- fornecer subsídios para a implementação do Programa Nacional de Nanossecurança;

- propor ações, iniciativas e programas harmonizados com a OCDE e com os ODS;
- promover a formação e capacitação de recursos humanos qualificados na área de Nanotecnologia;
- estimular a maior interação entre academia e o setor produtivo;
- promover a criação de ambientes inovadores em Nanotecnologias;
- intensificar a cooperação internacional em Nanotecnologia.

As ações de Implementação do Plano de Ação de CT&I para Nanotecnologia serão articuladas pelo MCTIC, por meio da Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação de Tecnologias Estratégicas (CGTE), subordinada ao Departamento de Tecnologias Estruturantes (DETEC) da Secretária de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI).

As ações de CT&I envolvem o acompanhamento e a revisão periódica das iniciativas do MCTIC, o esforço ministerial para articular programas e projetos com os demais atores do SNCTI, bem como a articulação dos atores governamentais com a sociedade. Dentre as principais estratégias de implementação destacam-se as seguintes linhas de ação:

4.2.5.1 Ação 1: Suporte ao estabelecimento de Marco Regulatório para Nanotecnologias

A falta de um marco regulatório e de uma estrutura para transferência de tecnologia que forneça a segurança necessária tanto para o pesquisador, em relação ao risco de propriedade intelectual, quanto para o produtor, em relação aos aspectos sanitários, ambientais e, em última instância, jurídicos, inviabilizam uma sinergia efetiva entre os dois atores do sistema de PD&I (PLANODEAÇÃO (2019-2022)). Como consequência, percebe-se, em especial no Brasil, a falta de interesse em investir capital empreendedor em nanotecnologia. Além disso, nota-se extrema dificuldade na importação de matéria-prima básica, seja por empresas, seja por laboratórios.

De maneira a propiciar a segurança jurídica necessária para estimular a confiança de investidores e consumidores, é importante que se estabeleça os critérios para garantir a qualidade e a segurança dos nanomateriais e nanoprodutos e os procedimentos necessários para certificação dos nanomateriais e

nanoprodutos, de maneira que o setor produtivo e os investidores tenham referência das normas que devem seguir.

Assim, de maneira a dar suporte ao estabelecimento do Marco Regulatório para Nanotecnologias, o MCTI recomenda-se as seguintes atividades:

- articulação com os agentes reguladores e regulamentadores para dar subsídios para estabelecimento de um marco legal para nanotecnologia;
- articulação com o Poder Legislativo Federal para proposição do Marco Legal da Nanotecnologia;
- ampliação do Programa para Estabelecimento de Procedimentos para Certificação de Nanoprodutos;
- fortalecimento de Programas e Ações que fornecerão subsídios científicos para estabelecimento do Marco Regulatório;
- fortalecimento de Programas, como SisNANO, que poderão contribuir para execução de procedimentos necessários para avaliação da qualidade e segurança de nanomateriais e nanoprodutos

4.2.5.1.1 Ação Nucleadora: “Programa para Estabelecimento de Procedimentos para Certificação de Produtos oriundos da Nanotecnologia”.

Para o estabelecimento do Marco Regulatório para Nanotecnologias é fundamental, como primeiro passo, estabelecer os requisitos para avaliação da segurança da nanotecnologia e dos produtos advindos desta tecnologia. A atuação do Brasil no Programa NANoREG foi fundamental para que esse primeiro passo fosse dado, uma vez que, por meio desse Programa, foi possível estabelecer metodologias cientificamente referenciadas para avaliação de segurança de nanomateriais. (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).

Com base nessas informações, o próximo passo é estabelecer com os reguladores nacionais (ANVISA, IBAMA, MAPA e Inmetro) os procedimentos para avaliação e certificação de produtos de base nanotecnológica, de maneira a dar suporte para elaboração de um marco regulatório para nanotecnologias. Para tanto, foi estabelecido o Programa para Estabelecimento de Procedimentos para Certificação de Produtos oriundos da Nanotecnologia, que está sob a gestão científica do corpo técnico do Inmetro (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).

O referido Programa foi dividido em eixos, que envolvem as seguintes ações:

- Eixo 1 – alinhamento com agentes reguladores para estabelecimento dos requisitos necessários para certificação de nanoproductos;
- Eixo 2 – acompanhamento das ações internacionais de regulação em nanotecnologias;
- Eixo 3 – difusão dos Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) e de guias de orientação/avaliação harmonizados com os protocolos da OCDE;
- Eixo 4 – acreditação de laboratórios, em especial os integrantes do SisNANO, segundo os requisitos estabelecidos na norma ABNT/NBR/ISO/IEC 17025:2005 e/ou reconhecimento em Boas Práticas de Laboratório (BPL);
- Eixo 5 – articulação com o Poder Legislativo Federal, acompanhamento e fornecimento de suporte científico aos legisladores nas questões regulatórias relacionadas às nanotecnologias;
- Eixo 6 – desenvolvimento de materiais de referência.

4.2.5.2 Ação 2: Fornecer subsídios para a implementação de um programa Nacional de Nanosseguurança

Como previsto na Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), é estratégico para o desenvolvimento da liderança do Brasil na área de nanotecnologia na América Latina e mundo, o estabelecimento de um Programa Nacional de Nanosseguurança que, dentre os diversos eixos estruturantes, estimule modelos de avaliação da segurança de nanomateriais e nanoproductos na cadeia de valor, harmonizados com a OCDE e alinhados com os ODS (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).

Conceitualmente, a orientação (framework) mais promissora para a avaliação da conformidade proposta para Nanosseguurança é avaliar a cadeia de valor do produto, em contraponto a uma única avaliação dos nanomateriais ou dos nanoproductos isoladamente. Tal orientação está alinhada com o conceito de Safe by Design (Segurança ao longo do Projeto), que evidencia a busca pela segurança ocupacional, ambiental e final do produto desenvolvido, durante todo o ciclo de desenvolvimento tecnológico dos produtos, e com as exigências das agências reguladoras/fiscalizadoras, harmonizadas com a legislação global direcionada pela OCDE²¹ e que responda aos desafios dos ODS.

Como ponto de partida referente ao Plano de Ação de 2019-2022, a avaliação de nanosseguurança na cadeia de valor deverá considerar a avaliação minimamente em três etapas:

- 1) avaliar a gestão da qualidade da empresa fornecedora de nanomateriais e da empresa produtora de nanoproductos;
- 2) realizar uma análise de risco no projeto do nanomaterial usando o conceito de Safe By Design (Segurança pelo Projeto) e
- 3) avaliar os Modos de Exposição (MoE) quanto às rotas - dérmica, inalação e ingestão. A interação entre os agentes envolvidos na avaliação da segurança na cadeia de valor do nanoproductos é ilustrado na Figura 8.

Figura 8 - Nanosseguurança na Cadeia de Valor. (Safe By Design). Veja a figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

Essa abordagem inovadora deve posicionar o Brasil entre as nações desenvolvidas na temática de nanotecnologia, bem como agregar a contribuição dos três poderes (Executivo, Legislativo e Judiciário), incorporando a expertise da academia, da indústria e dos órgãos regulatórios e fiscalizadores.

O Programa de Nanosseguurança referente ao Plano de Ação, (2019-2022), poderá contar com o suporte técnico-científico e com a experiência acumulada ao longo de 16 anos da área de Nanotecnologia no MCTIC e, em especial, no conhecimento adquirido com a participação no Projeto NANOREG e Programa de

Certificação de Nanoprodutos; com a capacitação e experiência em regulação dos entes reguladores e regulamentadores; e com a estrutura científica e laboratorial do País, incluindo os laboratórios do SisNANO. Órgãos do Judiciário e do Ministério Público poderão ser integrados ao Programa de maneira a proporcionar segurança jurídica para o setor produtivo. Em outras palavras, o Programa será capaz de harmonizar a atuação da academia, da indústria e do poder público em torno do desenvolvimento das Nanotecnologias de forma segura e sustentável social, ambiental e economicamente (Figura 9), dando suporte e subsídios para o estabelecimento e a consolidação da nanotecnologia nacional.

Figura 9 - Representação esquemática dos órgãos e entidades em atuação conjunta que darão subsídios para estabelecimento do Marco Regulatório para Nanotecnologia. Veja a figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

4.2.5.3 Ação 3: Promover a formação de Recursos Humanos

Um dos grandes desafios econômicos e sociais do Brasil é a elevação da formação e qualificação médias da população. Especificamente na área de CT&I, a dificuldade de encontrar mão-de-obra qualificada está sendo mitigada por meio de articulações entre o MCTIC e os órgãos ligados à educação e à capacitação de

pessoas, como o MEC, CAPES, CNPq, SEBRAE, SENAI, dentre outras instituições afins. Para tanto, o Plano apresenta as seguintes linhas de orientação:

- disponibilização de bolsas para formação de recursos humanos no campo da pesquisa científica e tecnológica na área de nanotecnologia;
- disponibilização de bolsas de desenvolvimento tecnológico e industrial no âmbito de Ações e Programas, como o SisNANO;
- proposição de criação de uma Premiação Nacional para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (Nanotecnologia, Materiais Avançados, Fotônica e Tecnologias para Manufatura Avançada);
- promoção e apoio a eventos nacionais na área de Nanotecnologia;
- fortalecimento dos ambientes promotores da inovação, visando a geração de novas empresas de base tecnológica e consequente absorção de recursos humanos qualificados;
- promoção e apoio a programas de capacitação e intercâmbio de recursos humanos em projetos de cooperação internacional envolvendo nanotecnologias.

4.2.5.4 Ação 4: Fortalecimento de Ambientes Inovadores

Segundo o Índice Global de Inovação (GII) do PLANODEAÇÃO, (2019-2022), publicado conjuntamente pela Universidade de Cornell (EUA), Instituto Europeu de Administração de Empresas (INSEAD) e Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), o Brasil ocupa o 66º lugar dentre os 129 países analisados, e atrás de países como Chile (51ª posição), México (56ª posição) e Uruguai (62ª posição). Esse dado indica que é preciso investir na base do sistema de inovação brasileiro, apoiando a formação de recursos humanos e articulações com os poderes do Estado e o setor empresarial.

Para tanto, este Plano prevê as seguintes orientações:

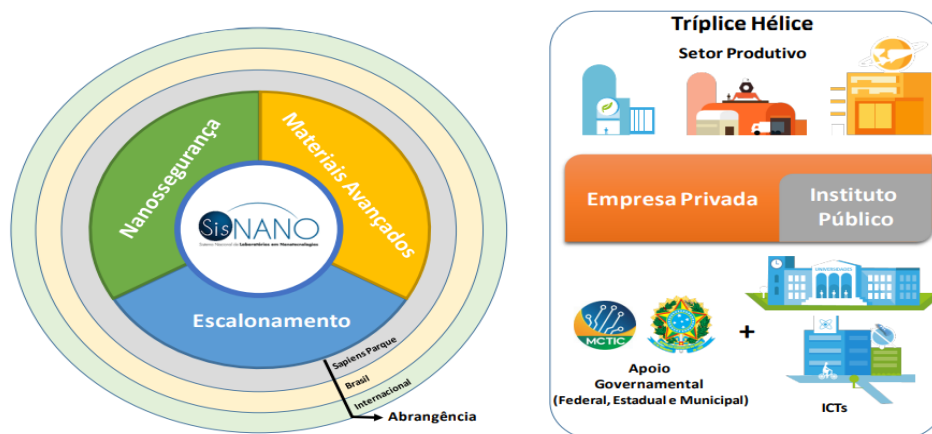
- Criação e articulação de Centro de Inovação em Nanotecnologia e Materiais Avançados;
- Desenvolvimento, apoio e articulação de um Sistema de Serviços Unificado da IBN;
- Ampliação do SisNANO, com a inclusão de Parceiros Estratégicos (laboratórios e/ou institutos de P&D privados);

- Articulação com órgãos competentes para a idealização de um Programa Nacional para Desenvolvimento de Micro e Pequenas empresas de Nanotecnologia;
- Articulação com órgãos competentes para a elaboração de iniciativas para facilitação de importação de matéria-prima para Laboratórios e Empresas;
- Articulação com o INPI, com vistas à implementação de exames prioritários de patentes por intermédio do Programa de Aceleração de Concessão de Patente para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras;
- Estimular o fomento/financiamento para provas de conceito, desenvolvimento de produtos minimamente viáveis (MVP) e mútua transferência de conhecimento e expertise entre os setores acadêmico, governamental e industrial;
- Propor o estabelecimento de uma unidade EMBRAPII de nanoprodutos.

4.2.5.4.1 Criação do Centro de Inovação em Nanotecnologia e Materiais Avançados

O Plano (PLANODEAÇÃO, 2019-2022). de Ciência, Tecnologia & Inovação para Nanotecnologia estimula a criação de Centros de Inovação de Nanotecnologia e Materiais Avançados (CI.nano), que deverão atuar como ambientes de interação da tríplice hélice, congregando a academia, as empresas fornecedoras de soluções baseadas nas nanotecnologias, as empresas usuárias de nanotecnologias, governos estaduais e federal. A concepção norteadora do Centro é a flexibilidade de organização, devendo este se mobilizar para a resolução de problemas específicos de uma temática, por meio do desenvolvimento tecnológico conjunto e orientado por demanda. Esse formato visa à sustentabilidade da integração academia-indústria, na qual estarão reunidas as competências de um consórcio de empresas privadas, institutos públicos e os instrumentos governamentais (Figura 10).

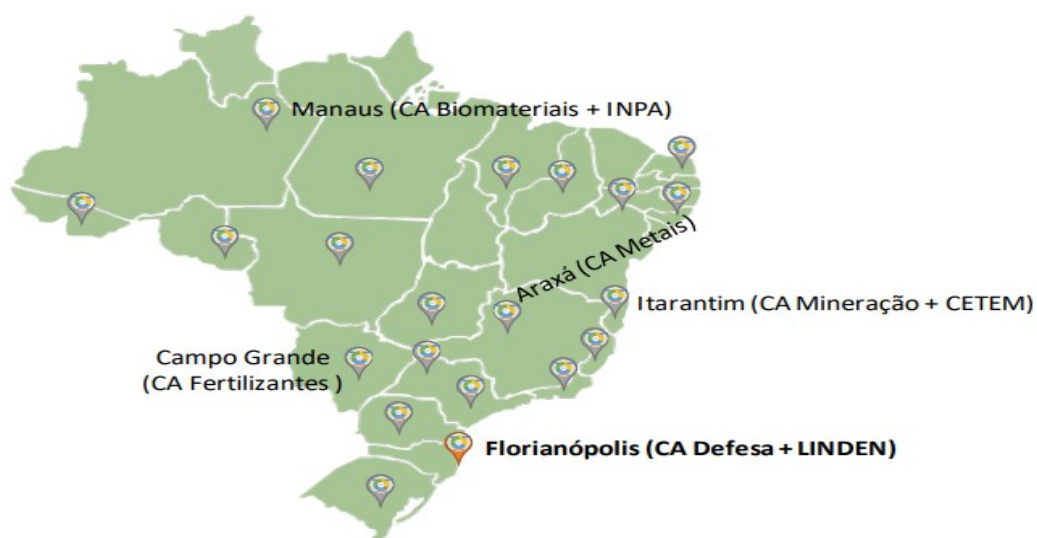
Figura 10 - Representação esquemática da estrutura e funcionamento de um Centro de Inovação em Nanotecnologia e Materiais Avançados. Veja a figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

Como proposição deste Plano de Ação, o modelo de operação para os Centros de Inovação em Nanotecnologia e Materiais Avançados (CI.Nano) pode ser expandido para diversas outras temáticas, nos diversos Estados, aproveitando ao máximo e de forma sustentável os recursos abundantes e estratégicos da biodiversidade, minerais e outros materiais (Figura 11).

Figura 11 - Potenciais Centros Avançados com possibilidade de serem implementados. Veja a figura abaixo.



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

4.2.5.4.2 Credenciamento de uma unidade EMBRAPII para Nanoprodutos

Ancorados no PLANODEAÇÃO (2019-2022), o MCTIC considera prioritário o fomento à criação de uma Unidade EMBRAPII para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de produtos com vertentes nanotecnológicas, “Unidade EMBRAPII de Nanoprodutos”.

As Unidades EMBRAPII são constituídas a partir de competências tecnológicas específicas de ICTs, públicas ou privadas sem fins lucrativos, com experiência comprovada no desenvolvimento de projetos de inovação em parceria com empresas do setor industrial. Nesse sentido, o Programa SisNANO apresentará a instituição de pesquisa científica e tecnológica com maior potencial a ser credenciado na temática Nanoprodutos, podendo ser integrados outros parceiros.

A expectativa é a de que o setor produtivo, principalmente, empresas e indústrias, seja atraído pela forte base de conhecimento e pela capacidade de geração de soluções tecnológicas existentes nos Laboratórios do Programa SisNANO, potencializadas pelo mecanismo de compartilhamento de custos e riscos oferecido pela EMBRAPII, para gerar inovação industrial no país (Figura 12).

Figura 12 – Logo de junção entre SisNANO e a EMBRAPII. Veja a figura abaixo.

Proposição de junção de competências entre o SisNANO e a EMBRAPII, na forma de credenciamento de uma Unidade EMBRAPII para Nanoprodutos



Fonte: Elaborado pelo MCTIC referente ao Plano de Ação 2019-2022

4.2.5.5 Ação 5: Intensificar a Cooperação Internacional

Países como Estados Unidos, China, Rússia, Alemanha, França, Japão, dentre outros, têm investido vultosos recursos para o desenvolvimento da nanotecnologia, tanto de fontes públicas quanto de fontes privadas. Isso demonstra a importância estratégica da nanotecnologia para a liderança da economia mundial, posição que toda nação almeja alcançar em um mercado globalizado altamente competitivo. A integração com a troca de conhecimentos, experiências e produtos em nanotecnologia com os países líderes no desenvolvimento da nanotecnologia deve ser prioridade para o Brasil, para, dessa forma, elevar ainda mais o nível científico e mercadológico no cenário global (PLANODEAÇÃO, 2019-2022).

A seguir, as principais orientações para o fortalecimento e intensificação da cooperação internacional em nanotecnologia:

- emprego da “Diplomacia da Inovação” para fortalecer a Cooperação Internacional tecnológica entre os diversos setores acadêmicos, empresariais e governamentais que compõe o sistema brasileiro de inovação;
- ampliação dos acordos bilaterais e multilaterais de cooperação e compromissos internacionais celebrados pelo Governo Brasileiro associados à Nanotecnologia;
- fortalecimento de Programas de Cooperação Internacional já estabelecidos associados à Nanotecnologia, em especial, o Centro Brasil-China de Inovação em Nanotecnologia, Grupo de Trabalho BRICS em Ciências dos Materiais e Nanotecnologia, Centro Brasileiro-Argentino de Nanotecnologia e União Europeia;
- articulação de programas de desenvolvimento tecnológico e inovação conjuntos, com vistas a atrair investimentos e parceiros internacionais para laboratórios e empresas brasileiras, bem como incentivar a transferência de conhecimento e tecnologia entre países;
- estímulo à cooperação com países com possuem know-how em nanotecnologia, a fim de alinhar-se às tendências científico-tecnológicas, e, também, identificar os mercados internacionais de maior potencial considerando as competências brasileiras e os produtos naturais brasileiros; estímulo ao intercâmbio entre pesquisadores e alunos com países líderes em nanotecnologias;
- incentivo à participação nacional em programas internacionais de PD&I, a fim de prospectar nichos de atuação na área de nanotecnologia no qual o Brasil possa ser competitivo.

O Plano de Ação em CT&I (Encti 2016-2022) para nanotecnologia busca orientar a implementação das ações para a área de Nanotecnologia, de forma a contribuir com o desenvolvimento econômico e social do País. Por se tratar de um tema transversal, ela perpassa praticamente todos os setores industriais, em todas as etapas de produção, desde o processo de fabricação até a utilização pelo usuário final e seu descarte. Além do mais, que a estratégia básica deste Plano de Ação é a promoção da aproximação e integração entre a academia e a indústria.

4.3 Políticas Públicas da Nanotecnologia no Brasil.

No Brasil, segundo o PLANODEAÇÃO (2019-2022) existe um ecossistema que engloba tanto o setor público como o privado, que vem sendo fomentado ao longo de 16 anos, iniciando-se com a criação do Programa de Desenvolvimento da Nanociência e da Nanotecnologia, em 2003; incrementado com o Plano Nacional de Nanotecnologia, em 2005 e, atualmente, fortalecido com a criação da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), lançada em 2013 e institucionalizada por Portaria em 2019, com o objetivo de criar, integrar e fortalecer ações governamentais para promover o desenvolvimento científico e tecnológico da nanotecnologia, com foco na promoção da inovação na indústria brasileira e na prosperidade econômica e social.

A Política Nacional de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação (PNCTI) é administrada pelo governo e o incentivo específico na área de nanotecnologia foi uma iniciativa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). (TENÓRIO; MELLO; VIANA, 2017).

As principais políticas públicas em vigor para a nanotecnologia são a criação dos Institutos Nacionais de Incentivo a Ciência e Tecnologia (INCTs), a Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia (IBN) e a criação do Sistema Nacional de laboratórios em Nanotecnologia (SISNano). (ABDI, 2016). Outro integrante marcante da Política Nacional de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação (PNCTI) é a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Incentivo à Saúde (PNCTIS). Regidos pelos mesmos princípios, a Política Nacional de Incentivo à Ciência, Tecnologia e Inovação (PNCTI) e a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Incentivo à Saúde

(PNCTIS), buscam o desenvolvimento da tecnologia com importância social (BRASIL, et al., 2008).

Os Institutos Nacionais de Incentivo a Ciência e Tecnologias (INCTs) foram instituídos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) pela portaria MCT nº 429, de 17 de julho de 2008 e são concentrados em áreas específicas de conhecimento, com foco na nanotecnologia direcionada para saúde. Seu objetivo é incitar e reunir, de maneira planejada, grupos de pesquisa, destacando o desenvolvimento de nanomedicamentos na área da saúde. O incentivo a pesquisa básica e aplicada promove o desenvolvimento científico e tecnológico com eixo na integração entre o Sistema Brasileiro de Tecnologia (Sibratec) e a indústria. A nanotecnologia voltada para a saúde é separada em nove Institutos Nacionais de Incentivo a Ciência e Tecnologias (INCTs) apresentadas na Tabela 1. Cada uma apresenta um nível de organização e tem como propósito a formação de recursos humanos e transferência de conhecimento para a sociedade (ABDI, 2016).

Tabela 1 - Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia nas Áreas de Nanotecnologia aplicada à Saúde	
Sigla	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia nas Áreas de Nanotecnologia aplicada à Saúde
INOMAT	INCT EM Materiais Complexos Funcionais
INCTMN	INCT dos Materiais em Nanotecnologia
NanoBioSimes	INCT de NanoBioEstruturas e Simulação Biomolecular
NanoBiofar	INCT de Nanobiofarmacêutica
Nanobiotecnologia	INCT de Nanobiotecnologia
INCTIF	INCT para Inovação Farmacêutica
INCTV	INCT de Vacinas
Nanobiosímes	INCT de NanoBioEstruturas e Simulação NanoBioMolecular
INCTCatálise	INCT de Catálise em Sistemas Moleculares Nanoestruturados
NAMITEC	INCT de Sustenias Nucri e Babiectrônicos (NAMITEC)
	INCT de Carbono
	INCT de Nanotecnologia para Marcadores Integrados
DISSE	INCT de Nanodispositivos Semicondutores (DISSE)
	INCT de Nanobiotecnologia
N-BIOFAR	INCT de Nanobiofarmacêutica (N-BIOFAR)
	INCT em Tuberculose
BIOFABRIS	INCT de Biofabricação - BIOFABRIS
Fonte: (ABDI,2016)	

A Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia (IBN), lançada em 2013 pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), foi elaborada com intuito de fomentar o mercado econômico em nanotecnologia e abrir caminhos para que o Brasil alcance reconhecimento (PLANODEAÇÃO, 2019-2022). A função da Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia (IBN) é planejar, elaborar, executar, acompanhar e avaliar as atividades desempenhadas em nanotecnologia pela Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI).

O acompanhamento, análise e sugestões de políticas para a nanotecnologia é realizada por uma das coordenações da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (SETEC) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), a Coordenação Geral de Micro e Nanotecnologia (CGNT), que conta com um Comitê Consultivo de Nanotecnologia (CCNano), estruturado por 12 membros de setores públicos e privado.

O Sistema Nacional de laboratórios em Nanotecnologia (SISNano) foi produto da iniciativa Brasileira em Nanotecnologia (IBN). Este soma uma rede de 26 laboratórios que voltam seus investimentos para a infraestrutura, o que permite

Artigo original Hegemonia – Revista Eletrônica do Programa de Mestrado em Direitos Humanos, Cidadania e Violência/Ciência Política do Centro Universitário Unieuro ISSN: 1809-1261 UNIEURO, Brasília, número 25 (Especial), 2018, pp. 150-178. alavancar a pesquisa e o desenvolvimento dessa tecnologia. Através de editais de subvenção, a Iniciativa Brasileira em Nanotecnologia (IBN) promove o financiamento de projetos inovadores realizados nessa área (ABDI, 2016).

A Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Incentivo à Saúde (PNCTIS), assim como a Política Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (PNCTI), tem como propósito o avanço tecnológico de modo sustentável, que promova uma coesão social e alavanque o mercado através da integração entre as academias e indústrias (BRASIL; MINISTÉRIO DA SAÚDE; SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E INSUMOS ESTRATÉGICOS, 2008; FONSECA, 2016).

De modo específico, a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), é responsável por intermediar o contato entre as empresas, universidades e institutos científicos e tecnológicos com o intuito de valorizar o desenvolvimento de uma economia sustentável (OECD, 2005).

Muito tem se debatido a respeito dos impactos do desenvolvimento tecnológico em âmbito social, econômico e na comunidade acadêmica. Mesmo

com as políticas de incentivo, o processo que designa a verba para as pesquisas até então, mostra-se pouco compatível com as diretrizes. Entretanto, para os estudos que ainda chegam a ser realizados e publicados, é levantada uma outra questão: qual a relevância dos estudos e sua aplicabilidade real? (TRENTIN et al., 2018).

As políticas públicas e os órgãos que auxiliam na regulamentação e incentivo à ciência estão buscando essa conjunção a fim de diminuir os resultados negativos.

4.4 Nanociência e Nanotecnologia: Definições e Nomenclaturas

O conceito de nanotecnologia se apresenta como um conjunto de tecnologias, de variadas áreas, que possuem em comum a manipulação de átomos e “moléculas numa escala que se situa no intervalo entre 1 e 100 nanômetros, e que, juntamente com a nanociência, engloba projeto, manipulação, produção e montagem no nível atômico e molecular (FERNANDES; FILGUEIRAS, 2008)”. “O termo nanotecnologia é constituído por três radicais gregos: nano significa anão; tecno, arte; e logos, saber ou ciência (SIQUEIRA-BATISTA et al., 2010)”. No meio científico significa uma medida de 10^{-9} unidades, “sendo essa escala, coloquialmente conhecida por escala nanométrica ou ainda nanoescala. Igualmente, o vocábulo tecnologia é derivado do grego e é definido como a utilização do método científico com objetivos práticos e comerciais (MEDEIROS; MATTOSO, 2006)”.

A expressão nano é uma medida correspondente “à bilionésima parte de um metro ou um milhão de vezes menor que o diâmetro da cabeça de um alfinete ou, ainda, 80 mil vezes menor que a espessura de um fio de cabelo e, em uma representação numérica, 0,000 000 001 do metro (ALVES, 2005)”.

Contudo, a procura de uma definição para «nanomaterial» tem gerado alguma polémica (LOURO; BORGES; SILVA; 2013). Numa tentativa de obviar a essas inconsistências, a Comissão Europeia emitiu em 2011 uma recomendação sobre a definição de nanomaterial (NM), que se transcreve: por «nanomaterial», entende-se um material natural, incidental ou fabricado, que contém partículas num estado desagregado ou na forma de um agregado ou de um aglomerado, e em cuja distribuição número-tamanho 50% ou mais das partículas têm uma ou mais

dimensões externas na gama de tamanhos compreendidos entre 1 nanómetro e 100 nanómetros.

A nanotecnologia é, basicamente, transdisciplinar, envolvendo químicos, físicos, biólogos, engenheiros e farmacêuticos, entre profissionais de outras áreas. No entanto, pode-se dizer que os químicos têm um papel central para o desenvolvimento da nanotecnologia. Para se ter uma ideia da importante ligação entre a química e a nanotecnologia, basta comparar suas definições. “Química é a ciência que trata da composição, estrutura e propriedades da matéria, em nível atômico e molecular, bem como das reações que se produzem entre os elementos ou as moléculas (Rey, L., 2003)”. Já nanociência é “o estudo dos fenômenos e a manipulação de materiais nas escalas atômica, molecular e macromolecular, onde as propriedades diferem significativamente daquelas em uma escala maior”; com relação a nanotecnologia é “o design, a caracterização, a produção e a aplicação de estruturas, dispositivos e sistemas controlando forma e tamanho na escala manométrica (BRASIL, 2004a)”.

Conforme, LAZZARETT, L. L.; HUPFFER, H. M. (2019), nem todos os materiais que estão na escala nanométrica são definidos como nanotecnologia. Existem nanopartículas que ocorrem no meio ambiente, geradas naturalmente ou através da atividade metabólica dos seres vivos. Os animais utilizam essas nanopartículas naturais como os açúcares, as proteínas e outras biomoléculas em processos bioquímicos. Muitas nanopartículas são encontradas livremente na natureza, como nanocristais contidos na teia de aranha, no azul das asas das borboletas, geradas após a interferência da luz na ordenação das asas em escala micro e nanométrica, bem como nas patas das lagartixas que são revestidas de pelos finíssimos que podem se aproximar e fixar em uma base de apoio a uma distância de poucos nanômetros, permitindo caminharem sobre as superfícies como as paredes. “Ressalta-se que as nanopartículas também podem ser geradas nos processos de combustão, como, por exemplo, no ar poluído e nas cinzas vulcânicas (NNI, 2008)”.

LAZZARETT; HUPFFER (2019) afirmam que as propriedades dos materiais, em geral, dependem da sua composição físico-química e do meio ambiente na interface (estado físico, temperatura, pressão), no caso dos NM (Nanomateriais) as suas propriedades distintas e atrativas devem-se, fundamentalmente, à reduzida dimensão das partículas e a modificações ao nível

da estrutura que conduzem a um aumento da área superficial em relação ao volume, tendo por consequência um aumento do número de moléculas/átomos na superfície. Esta característica confere-lhes propriedades de superfície únicas, que, por sua vez, modificam a sua reatividade, “frequentemente melhorando as suas propriedades mecânicas, óticas, elétricas e magnéticas, comparativamente às dos materiais com a mesma composição físico-química, mas de dimensões maiores (SCENIHR, 2009)”. Estas modificações de reatividade têm dado uma contribuição significativa para o desenvolvimento e produção em quantidades significativas de uma geração de produtos inovadores contendo NM (nanomateriais), “com um vasto campo de aplicações em áreas como a eletrônica, a alimentação, a cosmética e a biomedicina (Wijnhoven SWP et al. 2010)”. A título de exemplo, o dióxido de titânio é utilizado na forma «nano» em protetores solares exibindo as mesmas propriedades de filtro ultravioleta que a forma convencional, “com a vantagem de ser invisível na pele . Estes NM são usados nos protetores solares desde 1990 (TGA, 2009)” e inserem-se numa das categorias de produtos que tem tido um maior incremento, a dos “produtos de cuidado pessoal e cosméticos (Wijnhoven SWP et al. 2010)”. Outro exemplo é a utilização de nanotubos de carbono para controlar ou aumentar a condutividade de materiais, com aplicações variadas que vão desde embalagens antiestáticas até aparelhos eletrônicos.

O estudo da nanoescala é importante, posto que as propriedades físico-químicas dos materiais tendam a ser diferentes das propriedades do mesmo material em larga escala, devido ao aparecimento de efeitos quânticos de tamanho e fenômeno de superfície. Assim, um elemento, quando reduzido à escala nanométrica, pode apresentar propriedades eletrônicas, mecânicas, térmicas, ópticas diversas, quando comparado com seu natural (estendido). Esta alteração nas propriedades fundamentais com a variação do tamanho das partículas é denominada de efeito do tamanho. (LOOS, 2014).

Além disso, a redução das partículas em escala nanométrica ocasiona uma consequência importante para a funcionalidade dos nanomateriais que é o aumento da área superficial nessas matérias nanoscópicas, devido ao aumento significativo da quantidade de átomos superficiais quando comparado com o volume total da partícula, modificando, assim, sua reatividade química e sua funcionalidade. (MARTINEZ; ALVES, 2013).

Essas propriedades que os elementos apresentam em nanoescala são importantes, visto que oferecem uma vasta faixa de novas aplicações, novos materiais e novas tecnologias para serem compreendidos pela nanociência. Ainda, essa propriedade única permite que menos material seja utilizado na síntese de um produto, pois há um aumento da área superficial, aumentando a reatividade, permitindo preservar os recursos naturais como a energia e reduzir os custos de produção, portanto, geram-se benefícios tanto para o meio ambiente quanto para a economia. (SHATKIN, 2013).

Um exemplo disso é o estudo e a manipulação do elemento ouro em escala nanométrica. O ouro em seu estado original, estendido, reflete a luz através de sua superfície e possui coloração amarelada, contudo, quando se apresenta em estado de nanopartículas, absorve alguns comprimentos de onda de luz, alterando sua coloração para vermelha, verde e magenta, dependendo do tamanho da partícula. Outro exemplo que se observa com o efeito de tamanho das partículas sobre as propriedades é a temperatura de fusão do ouro, pois, quando na forma estendida, é de 1063°C , entretanto, quando as partículas são de dois nm, a temperatura de fusão diminui para 500°C , uma diferença de mais de 500°C . Essas alterações no elemento ouro propiciaram um maior espectro de utilização, podendo, inclusive, utilizar as nanopartículas de ouro combinadas com biomoléculas nos exames de diagnósticos médicos. (MARTINEZ; ALVES, 2013).

Os produtos sintetizados por meio da nanotecnologia podem ser divididos em quatro diferentes gerações definidas por Roco et al. em 2006: A primeira geração constitui-se de produtos sintetizados antes do ano 2000, são exemplos desse grupo os revestimentos nanoestruturados, dispersão de nanopartículas, superfícies nanopadronizadas e materiais in natura (matérias-primas), como os metais nanoestruturados. Os materiais dessa geração possuem estruturas estacionárias. A segunda geração de produtos nanotecnológicos é composta por Nanoestruturas ativas, como novos transistores, fármacos alvo e produtos químicos; a síntese dessas substâncias deu-se a partir de 2005. Já, após 2010, tem-se o início da terceira geração, que se identifica pelo uso de sínteses e técnicas de montagem, como robótica, biomontagem e em multiescala, relacionados com nanosistemas baseados em mecânica quântica. Enquanto que a quarta geração, segundo os pesquisadores, iniciar-se-á entre os anos de 2015 e 2020 e englobará

nanosistemas moleculares heterogêneos em que cada molécula tem uma estrutura específica, desempenhando um papel diferente. (ROCO et al., 2011).

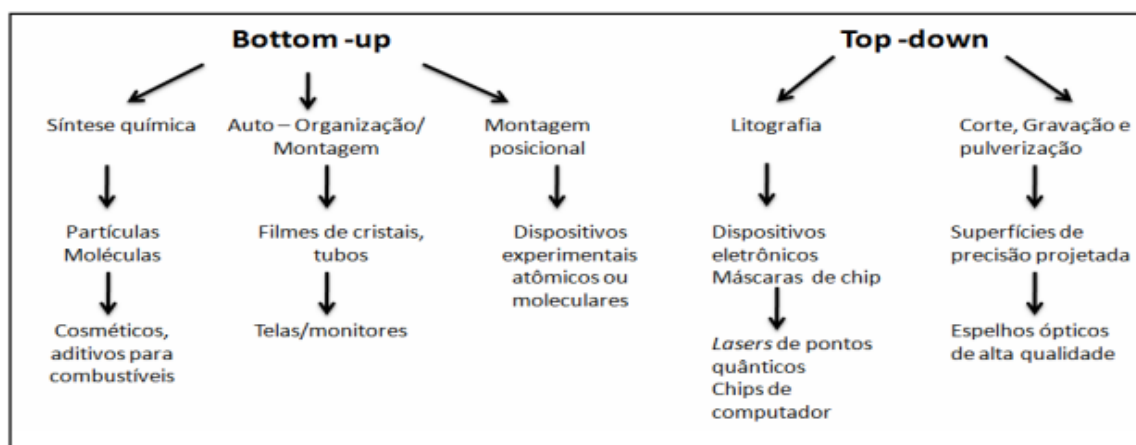
A nanotecnologia pode se caracterizar como uma nova fronteira tecnológica com potencial enorme de alcance na Ciência, nos negócios, na sociedade, dado seu poder de transformação e de mudança, gerando impactos e efeitos para o desenvolvimento científico, tecnológico, inovativo, regulatório, social e ambiental (Engema, 2020).

No artigo sobre “Nanotecnologias na Indústria de Alimentos” de Martins, P.R. e colaboradores (2011) menciona que nanotecnologia se refere a uma série de técnicas utilizadas para manipular a matéria na escala de átomos e moléculas e que há duas técnicas para se criarem nanoestruturas, com variados níveis de qualidade, velocidade e custos. Elas são conhecidas como “Botton-up” (baixo para cima) e “Top-down” (cima para baixo). É preciso realçar que nos anos recentes a tendência de convergência entre estas técnicas está em curso. No que toca a técnica “Botton-up” ela proporciona a construção de estruturas átomo por átomo ou molécula por molécula mediante três alternativas a saber:

- a) síntese química (chemical Synthesis), em geral utilizada para produzir matérias-primas, nas quais são utilizadas moléculas ou partículas nano;
- b) auto-organização (self assembly), técnica na qual os átomos ou moléculas organizam-se de forma autônoma por meio de interações físicas ou químicas construindo assim nanoestruturas ordenadas. Diversos sais em formas de cristais são obtidos por esta técnica;
- c) organização determinada (positional assembly). Neste caso, átomos e moléculas são deliberadamente manipulados e colocados em determinada ordem, um por um.

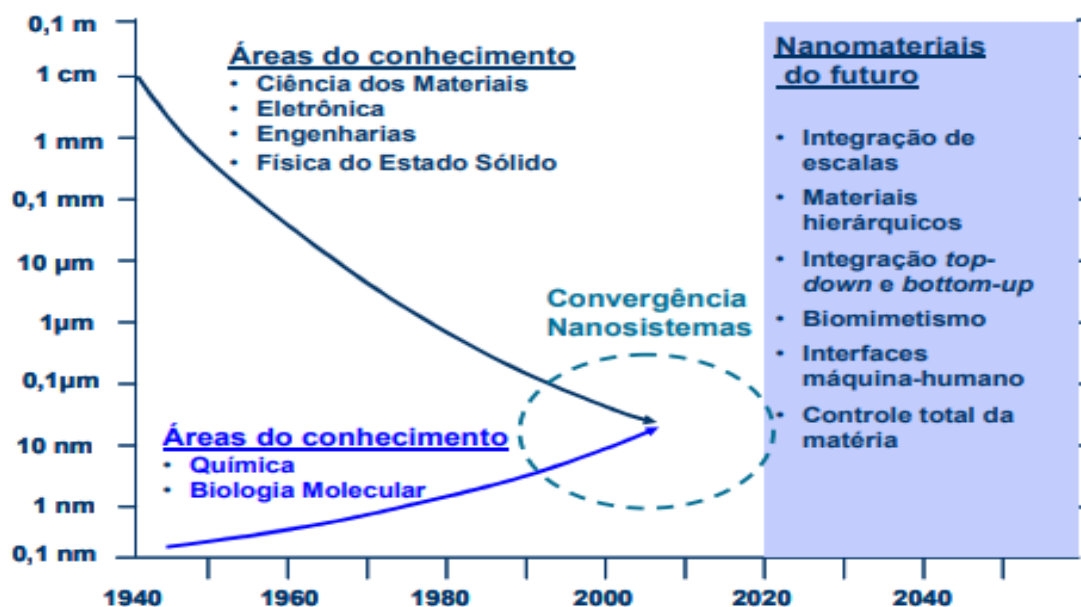
A técnica “Top-down” (cima para baixo) tem por objetivo reproduzir algo, porém em menor escala que o original e com maior capacidade de processamento de informações, como em um chip por exemplo. Isto é feito mediante dois caminhos: engenharia de precisão ou litografia. A indústria de semicondutores vem realizando isto nos últimos 30 anos.

Figura 13 - Métodos de manufatura em nanoescala: *top-down* e *bottom-up*. Veja a figura abaixo.



Fonte: The Royal Society/The Royal Academy of Engineering (2004).

Figura 14 - Convergência das abordagens top-down e bottom-up. Veja a figura abaixo.



Fonte: Illia, 2009, p. 64.

Para Suchman (2002) existem dois tipos de nanotecnologias. Aquelas que proporcionam discontinuidades tecnológicas discretas (nanates) e as que têm um caráter desruptivo, revolucionário (nanites). No primeiro caso, a sociedade tem

experiência anterior em lidar com este desenvolvimento tecnológico. No segundo caso, não existe experiência prévia por parte da sociedade.

Conforme Martins, P.R. et al (2011), devemos entender que:

Por nanates: as tecnologias que manipulam estruturas em nanoescala de substâncias em macroescala. Ou dito de outra forma, substâncias em macroescalas que são manipuladas por tecnologias que interferem nas suas nanoestruturas. Então essas são as nanates o que segundo o autor estão referenciadas aos nanomateriais. Exemplos: polímeros resistentes usados em cintos de segurança, pneus, membranas ultrafinas para filtros. As nanates encontram-se ligadas às engenharias químicas e de materiais. Por nanites: as tecnologias que constroem mecanismos em nanoescala para serem usados em ambientes de macroescala, tais como sistemas de vigilância em miniatura e equipamentos para exploração de minas. Nanites estão referenciadas a nanomáquinas, a engenharia mecânica e a robótica.

Segundo Suchman (2002), pode-se afirmar que de maneira geral as nanates não colocam desafios sem precedentes para a nossa sociedade. No particular poderá ocorrer que algum novo material possa colocar alguma mudança, como células fotovoltaicas que acabariam com a necessidade de petróleo como fonte de energia.

Quanto às implicações sociais da nanites, Suchman alerta que irão confrontar a sociedade com questões políticas profundas, ao permitir que os humanos manipulem o mundo numa dimensão sem precedentes. As nanomáquinas abrem uma nova fronteira em que não há regulamentação para tornar segura e produtiva esta atividade. Nanites apresentam qualidades e propriedades distintas que irão gerar novas questões de responsabilidade e controle. Estas estarão ligadas a três itens:

- ✓ O primeiro deles é a invisibilidade. Embora seja diretamente ligada à nanotecnologia, a invisibilidade estará ligada a primeira construção complexa e engenheirada de forma intencional, tornando-se, portanto, um cúmplice dos propósitos humanos para uma série de atividades para as quais foram produzidas.

- ✓ O segundo item é a locomoção. Embora seja menos inerente à nanotecnologia do que a invisibilidade, terá um efeito intenso nas questões das barreiras, já que as nanopartículas poderão ultrapassar cercas, muros, pele humana, células, etc.

- ✓ E o terceiro é a auto-replicação, posto que a criação de nanites auto-

replicáveis será a prova mais difícil de revolução da nanotecnologia.

“A auto-replicação é importante do ponto de vista econômico para a produção em massa de nanomáquinas. Portanto, esta propriedade de se auto-replicar acaba por se tornar significativa. Por outro lado, são colocadas profundas dúvidas sobre a capacidade de previsão e controle por parte dos humanos sobre as nanomáquinas, que poderão se multiplicar sem controle, sem terem como serem desligadas. A invisibilidade, a locomoção e a auto-replicação poderão ser potencializadas se nanites possuírem a capacidade de operar de forma autônoma e se auto-modificarem” (MARTINS, 2005).

As nanopartículas podem ser classificadas, conforme COSTA (2015) pela sua composição química, em três grandes grupos: as nanopartículas inorgânicas, as orgânicas e as híbridas, sendo a classificação mais utilizada no meio acadêmico. No grupo das inorgânicas, destacam-se os óxidos metálicos, como dióxido de titânio, óxido de ferro, as nanopartículas dos metais de transição, como o ouro e a prata, e os pontos quânticos compostos, principalmente, por cádmio e selênio. No grupo das orgânicas, as principais representantes são as nanopartículas formadas pelos átomos de carbono, como o fulereno, os grafenos e as nanofibras de carbono, além dos lipossomas, nanoemulsões, dentre outras. Já os nanomateriais híbridos são formados por dois tipos de nanocomponentes com funções complementares ou coesas entre si, como exemplo, elenca-se a conjugação de biomoléculas a nanopartículas metálicas e a associação de nanomoléculas orgânicas a matrizes nanopoliméricas com a finalidade de melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e ópticas.

BUSSINGER; TOSE (2017) comenta que a nanotecnologia destaca-se pela multidisciplinaridade, pois seu estudo relaciona áreas da física, química e biologia, podendo-se concluir que é a real potencialidade dessa nova tecnologia, enquadrando-se no grupo das tecnologias convergentes, já que há interação e combinação cooperativa entre diferentes áreas de conhecimento, como a tecnologia da informação, a medicina, a neurociência cognitiva e a biotecnologia. Isso tudo possibilitou o emprego da nanotecnologia em todos os setores industriais de produção, modificando de forma revolucionária as técnicas de síntese e manufatura na indústria médica, de higiene e beleza, gestão ambiental e da tecnologia da informação, impactando tanto as relações sociais, políticas e ambientais, quanto as relações com os consumidores.

4.5 Aplicações da nanotecnologia.

Em 1959, o ganhador do prêmio Nobel e físico americano Richard Feynman foi o primeiro a falar sobre as aplicações da nanotecnologia no Instituto Tecnológico da Califórnia (Caltech). O século XXI trouxe a consolidação, a comercialização e o apogeu de uma área que inclui a microfabricação, a química orgânica ou a biologia molecular (Iberdrola, 2021).

No artigo de Feynman (1960), que trata de demonstrar que há uma abundância de espaço quando você diminui o tamanho das coisas de uma forma prática, de acordo com os princípios das leis da física.

No ambiente físico, a nanotecnologia pode oferecer várias aplicações, principalmente relacionadas a medidas mitigadoras.

“As três principais áreas nas quais podemos esperar grandes benefícios provenientes da nanotecnologia são: na prevenção da poluição ou dos danos indiretos ao meio ambiente, no tratamento ou remediação da poluição e na detecção e monitoramento da poluição” (QUINA, 2004, p.1028).

Segundo Centro Ecológico (2009), referente ao artigo “Aplicações das nanotecnologias na cadeia alimentar – agricultura e alimentos e Nanotecnologias na indústria de alimentos”, a nanotecnologia é importante para a agricultura e nos alimentos, pois pode ser utilizada no processamento agrícola e sua produção.

Um dos exemplos que ela pode ser usada é no setor alimentício e nos recipientes da comida. Também é empregada nas propriedades agrícolas e dos alimentos (no seu monitoramento). Isso tudo pode significar uma grande redução de poder dos agricultores sobre a produção de alimentos.

A tendência no futuro com a Nanotecnologia é que os agricultores não terão mais emprego ou mesmo terão risco de desaparecer.

Santos Jr. & Santos (2016), menciona no seu artigo: O Papel da (nano) ciência e da (nano) tecnologia nas políticas agrícolas brasileiras: revisitando argumentos históricos, as transformações no setor agrícola com a introdução de nanotecnologias, revelando como este processo se desloca de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável, na medida em que fortalece, mais uma vez, a indústria do agronegócio e penaliza a agricultura familiar.

As indústrias serão hábeis inclusive de gerar o alimento através da junção de moléculas e átomos. A nanotecnologia já está presente no alimento em si.

A mesma é utilizada em matérias-primas agrícolas, em suplementos nutricionais, embalagens e alguns alimentos processados.

Conforme Martins, P.R. e colaboradores (2011), as pesquisas com nanotecnologias acenam para uma revolução tecnológica no setor, alterando a forma como o alimento é produzido, processado, embalado, transportado e consumido. O objetivo da pesquisa é aprofundar as reflexões sobre os possíveis impactos sócio-econômicos e ambientais decorrentes das nanotecnologias na indústria de alimentos.

No tratamento do câncer, por exemplo, a inovação garante a transferência dos quimioterápicos apenas para as células doentes, evitando que as saudáveis sejam atingidas.

“Em outubro de 2016, pesquisadores do Centro Nacional de Pesquisa em Energia em Materiais (CNPEM) desenvolveram nanopartículas capazes de atrair e inativar o vírus HIV (Pinelli, 2016)”.

Paschoalino, M.P. e colaboradores (2010), no artigo: Os nano-materiais e a questão ambiental, aborda sob o ponto de vista ambiental, as aplicações de nano-materiais, métodos de caracterização e avaliação de toxicidade.

Tabela 2 - Alguns exemplos de aplicações de nanomateriais manufaturados, em produtos de utilização correntes e de consumo humano.

Setor	Tipo de Produto/Observações
Energia	Sistemas fotovoltaicos; células solares; <i>grids</i> de energia; baterias; pás para geradores eólicos.
Iluminação	LEDs baseados em <i>quantum dots</i> para iluminação pública, domiciliar e automobilística.
Automobilístico	Pinturas especiais (não riscam, autolimpantes); catalisadores para conversores catalíticos para gases de escapamento; eletrônica embarcada; tecidos antibacterianos.
Esportes	Raquetes de tênis (nanotubos de carbono); roupas esportivas antitranspirantes e antibactericidas; calçados para esportes; quadros para bicicletas; tacos de golf; luvas para esportes.
Tecidos	Tecidos resistentes à sujidades (efeito lótus); tecidos antibactericidas; tecidos técnicos e não tecidos.
Embalagens	Embalagens com propriedades de barreira (umidade, gases), à base de nanocompósitos; embalagens inteligentes, sensíveis a gases de decomposição de alimentos; recipientes bactericidas (prata) para guardar alimentos perecíveis.
Cosméticos	Protetores solares; produtos para recuperação da pele; produtos contendo cores físicas (índice de refração); produtos para maquiagem.
Fármacos	Novas formas de administração de fármacos (nanoemulsões e nanopartículas); <i>drug-delivery</i> ; terapia de cânceres.

Tabela 3 - Aplicações da Nanotecnologia

Automotiva, Materiais		Materiais leves, mais resistentes, mais maleáveis. Catalisadores mais eficientes, ferramentas de corte mais duras, fluidos magnéticos inteligentes etc. Novos microscópios e instrumentos de medida, ferramentas para manipular a matéria em nível atômico, bioestruturas, pneus mais duráveis, plásticos não inflamáveis e mais baratos etc.
Computação, Nanoeletrônica		Nanofios, nanodiodos e nanotransistores, fotoisomerismo, computadores quânticos. Aumento da eficiência no armazenamento de dados e velocidade de processamento, além de uso reduzido de energia. Com a tecnologia do Fotoisomerismo é possível armazenar o conteúdo de 300 DVD's convencionais num cubo do tamanho de um dado.
Agricultura		Agricultura de precisão, certificados de qualidade, criação de aparelhos como a Língua eletrônica a base de nanosensores. Desenvolvimento de revestimentos comestíveis em frutas através de biopolímeros.
Medicina		Terapia Fotodinâmica, cosméticos - nano, aumento da velocidade dos diagnósticos, medicina menos invasiva, redução de rejeições em transplantes. Novos medicamentos baseados em nanoestruturas, kits de autodiagnóstico, materiais para regeneração de ossos e tecidos etc.
Segurança, Aeronáutica		Detectores de agentes químicos e orgânicos, circuitos eletrônicos mais eficientes, sistemas de observação miniaturizados, tecidos mais leves, confecção de coletes à prova de balas, vidros blindados. Aviões equipados com nanosensores e Inteligência artificial à base de computação quântica.
Meio Ambiente		Nanoímãs hidrofóbicos, quando dispersos em uma mistura água/óleo dispersam-se na fase óleo tornando-o magnético. Facilitam a sua remoção da água.

Fonte: Elaboração da autora baseada em Santos Júnior (2011, p. 32).

Tabela 4 - Principais Inovações com o uso da Nanotecnologia e Nanociência.

QUANDO	O QUE FOI CRIADO	QUEM	ONDE
25/10/2012	Cientistas desenvolvem nanomáquinas capazes de recriar movimentos musculares	Universidade de Estrasburgo	França
05/11/2012	Cientistas reproduzem mecanismo dos vagalumes para criar LEDs 98% mais luminosos	Cientistas	Coreia do Sul
07/11/2012	Cientistas desenvolvem laser com o tamanho das partículas de um vírus	Northwestern University	Illinois - USA
23/11/2012	Novo sensor 'farejador' pode encontrar explosivos com nanotecnologia	Universidade da Califórnia - Santa Barbara	USA
29/11/2012	Cientistas fotografam a dupla hélice de uma molécula de DNA	Pesquisadores	Itália
14/12/2012	Nova técnica garante que microscópios eletrônicos identifiquem cores	Universidade de Berkeley	USA
26/12/2012	Criaram um novo nano material que é inspirado na estrutura celular de plantas. Ele é capaz de trabalhar com mais eletricidade de uma vez só.	University of Reading	Berkshire, Inglaterra
25/01/2013	IBM apresenta nova nanotecnologia mortal capaz de aniquilar superbactérias	IBM	USA
08/07/2013	Nanorrobô controlado por ímãs é o futuro das cirurgias de risco	Institute of Robotics and Intelligent Systems de Zurique	Suíça
25/01/2014	Nanotecnologia reproduz sensibilidade dos bigodes dos gatos em robôs, para que eles sejam um novo tipo de rede de sensores táteis responsivos para o monitoramento em tempo real dos efeitos ambientais.	Berkeley Lab e da University of California de Berkeley	USA
30/01/2014	Camisa fabricada com nanofibras é capaz de monitorar sinais vitais	Uma parceria entre a fabricante de tecidos Toray e a empresa de telefonia NTT DoCoMo	Japão
28/08/2014	Pesquisadores criam nanorrobôs que caçam e destroem células cancerígenas	Centro de Câncer Devis da Universidade da Califórnia (UCDCC)	USA
29/08/2014	Implante de 'cabo' em sistema nervoso poderá tratar e prevenir doenças. Em vez de realizar a cura apenas por meio de medicamentos, pensar em um sistema de circuito fechado que vai trabalhar como um marca-passo inteligente".	Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA)	USA
23/10/2014	Chip usa ondas sonoras para gerar energia e manter-se em funcionamento	Universidade de Stanford	USA
24/01/2015	Nanorrobôs médicos: nanotecnologia pode ajudar a curar doenças localizadas, porque terão como objetivo de levar e aplicar remédios em lugares específicos do nosso corpo, sem causar efeitos colaterais.	Universidade em San Diego, Califórnia	USA
07/04/2015	Cientistas desenvolvem teste para HIV feito pela câmera do seu smartphone.	Florida Atlantic University	USA
11/06/2015	Uma pequena rede poderá dizer tudo sobre o funcionamento do seu cérebro.	Universidade de Harvard	USA
22/06/2015	Cientistas criam 'nanorrobôs nadadores' que transportam remédio pelo sangue.	Instituto de Tecnologia de Israel (Technion)	Israel
19/09/2015	Em testes de laboratório, o doutor Xiang Zhang e sua equipe conseguiram criar capa de invisibilidade. Ela tem 80 nanômetros de espessura. É super fina. Só foi utilizada em objetos microscópicos.	Universidade da Califórnia	USA
18/04/2016	Cientistas criaram um motor funcional formado por um único átomo	Universidade de Mainz	Alemanha
25/07/2017	Nanomaterial permite que baterias comuns sejam carregadas em segundos. A tecnologia é baseada em um nanomaterial chamado Mxene	Universidade de Drexel	USA
25/04/2018	Pesquisadores encontraram uma nova maneira de incorporar o grafeno ao concreto, tornando o material duas vezes mais resistente e quatro vezes mais à prova d'água do que o tradicional. Outra vantagem do novo composto é a sua sustentabilidade, visto que ele rende mais do que a mistura convencional, e seu uso reduziria também a emissão de gases do efeito estufa.	Universidade de Exeter	Reino Unido

Fonte: Elaboração por Castilho, Valentina García baseado no site [Nanotecnologia - TecMundo](#).

Acesso em: 29 out. 2021.

4.6 Vantagens e desvantagens da nanotecnologia

Reis (2020), aborda algumas das aplicações e benefícios da nanotecnologia em produtos e materiais do dia a dia tais como:

As vantagens são:

- Cria mudanças no nível celular;
- Pode prolongar a vida humana;
- Pode criar uma tecnologia de auto reparação;
- Possível eliminação da pobreza;
- Avanços na Medicina;
- Avanços na Fabricação.

As desvantagens são:

- Pode ser usado como arma;
- Pode causar as suas próprias doenças únicas;
- Poderia criar um novo sistema de identidade de classe;
- Privacidade e Segurança;
- Efeitos ambientais;
- Abalo econômico;
- Poderia tornar as tecnologias energéticas atuais obsoletas.

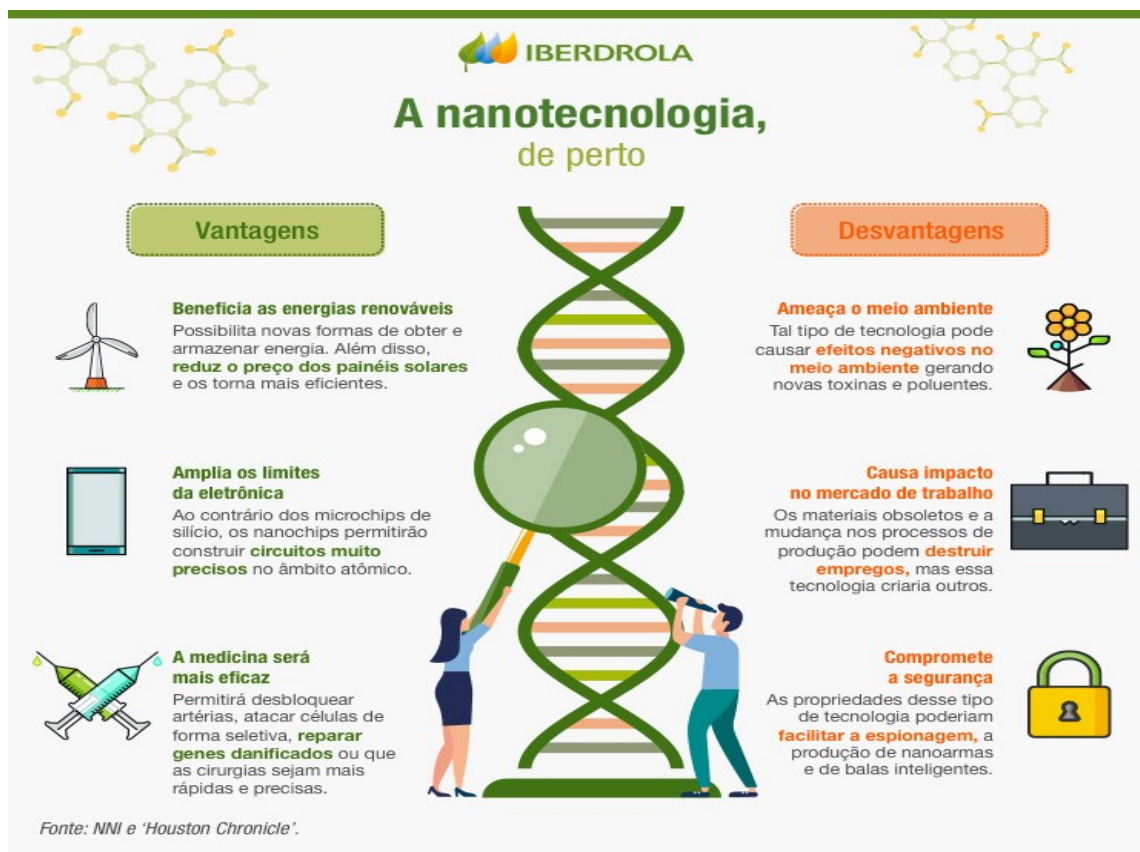
De acordo com Reis (2020), os prós e contras da nanotecnologia mostram um grande potencial, mas esse potencial corre um certo risco. Será que todos os humanos são essencialmente bons? Ou o risco de armar a nanotecnologia é algo que pode reter esta tecnologia? É necessário pesar cuidadosamente estes prós e contras para determinar os próximos passos neste campo de investigação.

Segundo Nishimura & Bernuy (2011), a nanotecnologia tem como vantagem dar compatibilidade a seus produtos e sua eficácia, influenciando tanto na sua rapidez, qualidade e utilidade. Suas desvantagens estão no seu alto custo e sua futura troca de mão-de-obra ou seja, possível substituição da mão-de-obra humana, causando desemprego. Além disso, os nano-lixos que são restos de nanopartículas, os quais podem acumular nas células e causar doenças.

IBERDROLA (2021), mostra no seu artigo sobre Nanotecnologia: uma pequena solução para grandes problemas, uma planilha com as vantagens e

desvantagens da Nanotecnologia, conforme Fonte: NNI e “Houston Chronicle”, mencionado abaixo.

Figura 15 - IBERDROLA, A Nanotecnologia de perto. Veja a figura abaixo.



Fonte: IBERDROLA

4.7 Os riscos do uso da nanotecnologia.

Segundo o livreto “A manipulação do Invisível”, publicado recentemente pelo Centro Ecológico, ASA Brasil e Rede Ecovida de Agroecologia de 2009, com apoio da Fundação Heinrich Böll, há fortes indícios de que:

✓ Os nanomateriais oferecem grandes riscos. Isso porque eles têm propriedades e comportamentos tão diversos que é impossível fazer uma avaliação genérica de seus riscos à saúde e ao meio ambiente.

✓ Nanomateriais com a mesma composição química, que tenham tamanhos ou formas diferentes, podem ter toxicidades completamente distintas. Também devido ao seu tamanho, os nanomateriais são capazes de penetrar

através da pele e da corrente sanguínea. Contudo, eles são tão pequenos que o sistema imunológico não consegue detectá-los, ou seja, eles fogem dos mecanismos de controle e proteção do corpo, podendo atravessar membranas protetoras como a da placenta e a do cérebro (uma barreira natural que serve para impedir a entrada de agentes tóxicos no cérebro). No nível atômico não há distinção entre matéria viva e não viva, o que significa que nanopartículas inanimadas (não vivas) introduzidas em organismos vivos não seriam rejeitadas porque o organismo não seria capaz de diferenciá-las das partículas de sua própria constituição biológica. Ou seja, são indetectáveis. Vários estudos mostraram que nanopartículas sintéticas contidas em nanomateriais comercializados, ao entrar em contato com tecidos vivos, produzem radicais livres, causando inflamação ou dano aos tecidos e ao DNA e o posterior crescimento de tumores. Também afetam negativamente as funções celulares podendo até causar morte celular. Fator de preocupação é que os nanomateriais manufaturados têm como destino final o lixo comum e, a partir daí, podem contaminar o ambiente. Isso pode significar uma diversidade de sérios riscos ecológicos nunca vistos anteriormente, porque provavelmente os resíduos podem se tornar mais persistentes, criando novas formas de contaminação de solos, de cursos de água e do ambiente em geral. Os poucos estudos existentes sugerem que os microorganismos e as plantas podem produzir, modificar e concentrar as nanopartículas, e que é possível ocorrer bioacumulação (os seres vivos absorvem e retêm os contaminantes mais rápido do que conseguem eliminar), ou mesmo bioampliação (os contaminantes vão se concentrando em cada novo degrau da cadeia alimentar).

✓ Até agora, ninguém sabe realmente como as nanopartículas irão se comportar em diferentes solos. Os estudos feitos parecem mostrar que o ambiente determina o comportamento: em alguns solos elas se movem rapidamente e por longas distâncias, enquanto em outros, praticamente não se deslocam.

✓ Os efeitos das nanopartículas na vida do solo também são praticamente desconhecidos. Estudos iniciais mostram que alguns tipos de nanopartículas podem causar danos aos microrganismos, enquanto outros não.

Os nano-materiais são liberados ao ambiente através do descarte de produtos e embalagens. Alguns de forma intencional como: nano-fertilizantes e nano-agrotóxicos. “O problema disso é o pouco conhecimento em torno da nanotecnologia, aos possíveis riscos ecológicos” (Centro Ecológico, 2009). O

mesmo é mencionado no artigo Nanotechnology: small matter, many unknowns de Hette (2004), que trata-se sobre o desconhecimento dos impactos negativos dos nano-materiais e a importância das pesquisas, para investigar seus riscos.

A preocupação com a saúde humana, incluindo trabalhadores; as aplicações das nanotecnologias na produção de alimentos, seus impactos sociais e éticos e a importância da opinião pública para a condução de um debate sobre os seus marcos regulatórios, são alguns aspectos levantados por Barros (2011), visando minimizar os riscos do uso de nanotecnologias.

Segundo Weinberg (2009), no artigo sobre Substâncias Químicas Perigosas à Saúde e ao Ambiente, comenta que as substâncias químicas têm se tornado indispensáveis em nossas vidas, mantendo muitas de nossas atividades, prevenindo e controlando numerosas doenças e aumentando a produtividade agrícola. Como também, os benefícios são incalculáveis, mas, por outro lado, elas podem colocar em risco nossa saúde e contaminar nosso ambiente.

Para GATTI (2016), os benefícios das nanotecnologias são extremamente excitantes e os nano-cientistas estão ocupados em sintetizar novos materiais e prever novas aplicações, entretanto, é crucial que também sejam pesquisados os riscos e a segurança dos nanomateriais à saúde humana e meio ambiente e como células, organismos e tecidos reagem à presença de nanopartículas. Em suas pesquisas, Gatti (2014) aponta evidências clínicas da presença de nanopartículas em tecidos patológicos e no sangue que são transportadas para qualquer órgão do organismo e sem qualquer barreira para viajarem livremente. Grande parte das partículas, por não serem degradáveis por nosso organismo, não oferecem nenhuma maneira de se livrar delas. Face ao exposto, Gatti questiona: qual o destino destas nanopartículas a longo prazo? Ao responder, a pesquisadora diz que é impossível não esperar uma reação inflamatória e problemas das interações entre as nanopartículas e proteínas e entre as nanopartículas e DNA. Se alojadas no cérebro, estudos mostram que podem causar inflamações e doenças neurológicas como o Autismo, Alzheimer, Mal de Parkinson ou outras doenças. Nanopartículas podem interagir diretamente com o DNA e se a interação não é controlada, o DNA pode ser danificado e ser causa para malformações da prole.

Portanto, consoante FOLADORI; INVERNIZZI (2016), as mesmas propriedades que fazem as nanopartículas tão atrativas podem ser fonte de risco,

visto que o aumento da superfície em relação ao volume proporciona o aumento da reatividade, e as manifestações físico-químicas diversas das expressadas em escala maior podem ocasionar atividade biológica e toxicidade diferente das já conhecidas. Como exemplo, cita-se uma nanopartícula de 10 nm que tem 20% de átomos de superfície, enquanto uma nanopartícula de 1nm tem 100% de átomos de superfície, influenciando as aglomerações, dispersões e estabilização dessas partículas. Quanto menor o tamanho das partículas, maior a área de superfície e, conseqüentemente, maior atividade biológica e maior toxicidade.

SOM e colaboradores (2010) compartilham que os nanomateriais são novos produtos químicos e há pouca informação disponível sobre segurança e riscos para a saúde e para o meio ambiente. Para os autores, a exposição humana ao nanomaterial pode ocorrer nas diversas fases do ciclo de vida do material (Figura 16), desde a síntese, a produção e a incorporação nos produtos, caracterizando a exposição ocupacional. Igualmente, a exposição humana poderá ocorrer, na utilização desses produtos, quando há a exposição do consumidor, na eliminação e, por conseguinte, acumulação no ambiente. SOM et al. (2010) constataram também que a presença dos nanomateriais no ar deve-se tanto aos processos de síntese quanto aos processos de síntese e manipulação de pós-nanomateriais, sendo a via inalatória a principal via de interação no contexto ocupacional.

Figura 16 - Esquema simplificado das fases do ciclo de vida de um nanomaterial manufacturado. Adaptado de: SOM, et al. (2010). Veja figura abaixo.



Em relação à exposição via oral, LOURO, BORGES e SILVA (2013) relataram que as nanopartículas são absorvidas, principalmente, pelo intestino, o que ocorre devido à incorporação desses materiais nos alimentos, suplementos ou

embalagem de alimentos, assim como os originados da contaminação do solo ou da água. Estudos em amígdalas humanas realizados por Dvorackova et al. (2009) descobriram a presença de vários aglomerados de metálicos nanoestruturados provenientes da poluição ambiental que entram no organismo humano pela respiração e podem afetar a saúde humana.

Estudiosos como Hankin e Caballero (2014) também se posicionam no sentido de que as nanotecnologias podem causar consequências negativas ambientais, sanitárias e de segurança, 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).

Governança dos riscos é uma ferramenta estratégica, que foi sugerida por HANKIN; CABALLERO, (2014), para os governos e visa a reduzir os riscos dos impactos nocivos, sendo uma solução alternativa para a inovação. Uma gestão efetiva e integrada estatal deve auxiliar a concretização de benefícios, focada em alcançar tanto os fins sociais quanto a competitividade econômica. É fundamental assegurar o desenvolvimento nanotecnológico seguro e sustentável, por intermédio de uma governança efetiva que possibilitaria uma tecnologia segura e sustentável, voltada à sociedade, sem cingir a inovação, considerando a segurança, a sustentabilidade e o cumprimento das metas sociais a fonte de inovação, proporcionando um estímulo desta, para fins específicos. A governança efetiva demanda um alto nível de diálogo, colaboração, gerenciamento entre as muitas instituições e partes interessadas, englobando aquelas que desenvolvem, sintetizam, comercializam e regulamentam as nanotecnologias, bem como os representantes da sociedade civil, com o propósito de promover um processo proativo e adaptativo.

4.8 Nanotecnologia: seus impactos atual e futuro sobre as atividades antrópicas.

O trabalho de Camara & Souza (2010), teve como objetivo analisar o comportamento organizacional que desencadeou a crise ambiental e a reflexão sobre as soluções não imediatistas que permitiriam uma produção sustentável e suas consequências. Apresentam a Nanotecnologia como uma das possíveis soluções para a problemática ambiental.

Santos Jr. & Santos (2008) analisam de forma crítica as transformações sociais a partir das nanotecnologias, entendida aqui como uma revolução tecnológica, capaz de estabelecer rupturas, seja na forma de combater doenças, produzir bens, fazer política ou, até mesmo, transformar profundamente os processos sociais.

Silva (2003) no artigo sobre Nanotecnologia: Novas questões éticas para o Brasil, dimensões legais e sociais numa abordagem interdisciplinar, visa fazer reflexões sobre a ética envolvida na nanotecnologia, a discussão de textos de intelectuais (de humanas e exatas) e a percepção de docentes de diversas disciplinas considerando as implicações tecnológicas, legais, políticas e sociais a ela vinculadas.

Seguindo a mesma linha de pensamento, Martins, P.R.(2005) no artigo sobre Nanotecnologia, Sociedade e Meio Ambiente no Brasil: Perspectivas e Desafios, traça o desenvolvimento recente e perspectivas da nanotecnologia no Brasil e a relação entre o Estado, corporações, lideranças de diversos setores distintos e as organizações de defesa aos direitos da sociedade.

Magela (2020) informa sobre o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados, que foi aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça no dia 19 de fevereiro de 2020 referente ao Projeto de lei nº 880, estabelece um avanço legislativo brasileiro.

O Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, Engema (2020), teve por finalidade explorar, academicamente, o período histórico que pode vir acontecer no Brasil a partir do, recente e inédito, pré-aprovado Projeto de Lei nº 880, que visa estabelecer nada mais que o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados no Brasil, assim como identificar quais às necessidades de uma legislação específica sobre o tema e os impactos associados

aos benefícios e riscos tecnológicos decorrentes do desenvolvimento e uso dessas tecnologias.

O futuro da nanotecnologia vislumbra luzes e algumas sombras no horizonte (IBERDROLA, 2021). Por um lado, se espera um crescimento global do setor impulsionado por avanços tecnológicos, maior apoio governamental, aumento do investimento privado e a crescente demanda de dispositivos menores, entre outros. No entanto, os riscos ambientais, sanitários e de segurança da nanotecnologia, além das preocupações relacionadas à sua comercialização poderão dificultar a expansão desse mercado.

4.9 Segurança dos Nanomateriais.

Práticas de segurança devem fazer parte do desenvolvimento responsável nanotecnológico. A Nano Risk Framework, editora global, (HANKIN; CABALLERO, 2014) lançou, em 2007, uma proposta de estrutura global e flexível para avaliar os riscos possíveis das nanopartículas, com a particularidade de recomendar informações sobre o ciclo de vida, suas propriedades, ecotoxicidade e descarte. A CENARIOS® foi elaborada em cooperação com Innovation Society e a TÜV SÜD Industry Service, sendo um sistema de gestão e monitoramento de riscos para atender às necessidades específicas de avaliação de risco nanotecnológico dos trabalhadores, consumidores e meio ambiente (HANKIN; CABALLERO, 2014). Já o AssuredNano™, desenvolvido em 2008, é um sistema de acreditação da segurança de nanomateriais, relacionado com a comercialização de nanoprodutos e as preocupações com a saúde, meio ambiente e segurança do trabalhador (HANKIN; CABALLERO, 2014). Observa-se que ainda são iniciativas privadas.

Outra iniciativa inovadora de organismos privados é da plataforma Integrated Nano-Science & Commodity Exchange (INSCX) que visa o comércio de nanomateriais por intermédio de uma plataforma de negociação de mercadorias com o diferencial de ofertar um mercado centralizado que permite uma lista completa, confiável e com certificação das exigências de qualidade e conformidade (LAZZARETTI; HUPFFER, 2019). O sistema INSCX funciona segundo as normas de autorregulação que comandam a oferta dos nanomateriais, tendo como regras as estruturas legislativas em vigor, a fim de salvaguardar o interesse mercadológico e o social. Com o INSCX é possível obter um relatório que disponibiliza o

rastreamento, o uso e o ciclo de vida dos nanomateriais negociados nessa plataforma (INSCX) (LAZZARETT; HUPFFER, 2019).

A fim de garantir a segurança e o bem-estar das pessoas, da vida selvagem e dos ecossistemas, faz-se necessário mais estudos e pesquisas, que desenvolvam métodos eficazes com a finalidade de medir os riscos da exposição aos nanomateriais. Deste modo, poderá ajudar o poder público a elaborar regras mais rígidas para o uso desses materiais e regulamentar a maneira como eles aparecem nos rótulos dos produtos. Enfim, as pessoas têm o direito de conhecer precisamente o que estão consumindo e os riscos, que estão sendo expostos.

O princípio da precaução diz: “Quando alguma atividade ameaça a saúde humana ou o meio ambiente, medidas de precaução devem ser tomadas, inclusive quando as relações de causa e efeito não são totalmente estabelecidas de maneira científica (NANOACTION, 2007)”.

Portanto, o princípio da precaução deve ser aplicado às nanotecnologias, porque a pesquisa científica atual sugere que “a exposição a alguns nanomateriais, nano-aparelhos ou produtos derivados da nanobiotecnologia, pode causar sérios danos à saúde ou ao meio ambiente e além de gerar preocupações sócio-econômicas (Andre Nel, et al., 2006)”.

4.10 Inovações e Mercado da Nanotecnologia.

A pesquisa e o desenvolvimento, em nanotecnologia, visam a manipular estruturas em nanoescala e integrá-las para formar componentes e sistemas maiores. As possibilidades são quase infinitas e se prevê que a nanotecnologia exerça um efeito mais profundo, na sociedade do futuro, que o impacto causado pelos automóveis, aviões, televisões e computadores no século XXI. “Espera-se que muitos dos importantes impactos devam vir do aumento das velocidades das reações, através do uso de nanocatalisadores e da integração da eletrônica molecular com a tecnologia avançada do silício (Gai, P. L.; Roper, R.; White, M. G. 2002)”.

A inovação trazida pelo desenvolvimento da tecnologia em nanoescala originou uma revolução tecnológica e industrial marcante, ocasionando modificações nas relações de consumo. Além disso, “a nanotecnologia destaca-se pela possibilidade de utilizar como matérias-primas todos os elementos da tabela

periódica, possibilitando o seu uso em quase todos os produtos manipulados, abrangendo praticamente todos os setores industriais (BUSSINGER; TOSE, 2017)".

ALVES, (2004) e ABDI, (2013) pensam que a nanotecnologia é uma tecnologia muito promissora para a indústria farmacêutica, biotecnológica e biomédica, considerada por muitos estudiosos uma das tecnologias que integram a Quarta Revolução Industrial, pois tem propiciado o desenvolvimento de novos medicamentos baseados em nanoestruturas complexas altamente seletivas, além de ser uma esperança no desenvolvimento de novos produtos para a medicina.

Principalmente máquinas moleculares (nanobots, sondas, sensores), que propiciam novos métodos de diagnóstico precoce para o câncer (capacidade de observação de células individuais, rastreamento do movimento de células cancerosas, rastreamento de moléculas individuais que se movem no entorno das células cancerosas), enfermidades infecciosas, terapia e sistemas para a administração de fármacos; nanosensores que circulam dentro do corpo para monitorar níveis de colesterol, hormônios e glicose, entre outros benefícios (LAZZARETT; HUPFFER, 2019). Também, possibilitou a elaboração de cosméticos com maior poder de absorção e estabilidade, medidores de níveis de glicose, tintas com poderes abrasivos, ação bactericida e fungicida, além de suplementos alimentares. Outra meta ambiciosa é o desenvolvimento da medicina personalizada, regenerativa e teranóstica .

RESCH; FARINA (2015) e SINGH (2017) concordam que a Nanotecnologia está presente em toda a cadeia produtiva da indústria alimentícia na qual nanopartículas ou técnicas de nanotecnologia são utilizadas desde o cultivo dos alimentos na agricultura, processamento e, posteriormente, em embalagens. Na agricultura, a promessa das nanopartículas engenheiradas são para ampliar o rendimento da produção de alimentos e reduzir o uso de defensivos agrícolas, sem causar danos ao solo e à água. Na indústria de alimentos, evidencia-se o emprego de nanofilmes para proteção e conservação dos alimentos (cor, sabor), nanosensores para verificar a deterioração dos alimentos e das embalagens com nanopartículas capazes de aumentar o tempo de vida útil dos alimentos, pois atuam como barreira contra umidade, contra micro-organismos, além de serem utilizados como agentes funcionais, ou seja, antioxidantes, corantes e conservantes.

SINGH (2017) comenta que os nanotubos de carbono estão sendo empregados, também, na indústria petrolíferoquímica para transporte de líquidos, visto que com esses materiais é possível a construção de ductos mais leves, fortes e resistentes à corrosão. Já na indústria têxtil, a nanotecnologia é aplicada devido aos aumentos da durabilidade do produto, conforto, propriedades higiênicas e a redução do custo. O uso dessa tecnologia em escala nanométrica nessa área permite a confecção de materiais com funções especiais, como antibactericida, proteção contra radiação ultravioleta e antiodores. A título de exemplo, cita-se as nanopartículas de prata que são utilizados em meias e roupas esportivas, devido à capacidade antibacteriana e antiodorífera.

SHAH e POWERS (2015) mostram que a nanotecnologia pode ser importante para o desenvolvimento de um país em relação aos recursos renováveis, como a água e energia, posto que são recursos importantes, principalmente, para a indústria de base, ou seja, a nanotecnologia pode ser mais sustentável, quando comparada ao antigo modelo produtor-consumidor adotado pelos países industrializados. A maioria das pesquisas na área de recursos hídricos envolvem materiais e processos simples e baratos, podendo ser implementados tanto nas comunidades remotas que sofrem com a escassez de água quanto nos grandes centros urbanos. Em relação à energia (SHAH e POWERS, 2015), existem diversos estudos baseados em nanotecnologia, voltados para o uso da energia solar, biomassa e energia eólica. A título de exemplo, cita-se o uso da técnica de fotocatalise através do uso de energia solar e nanopartículas de titânio que mineralizam alguns poluentes.

4.11 Regulamentação sobre Nanotecnologia.

O empenho até o presente momento para a regulação das nanotecnologias está mais centrado em organismos não governamentais e organismos internacionais, como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a União Europeia e as normas ISSO (HANKIN; CABALLERO, 2014; ENGELMANN; PULZ, 2015).

Na União Europeia, as discussões estão registradas no regulamento da REACH (Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos), nos documentos da European Agency for Safety and Health at Work; OSHA;

Occupational Nanotechnologies Industries Association (NIA), FDA. Nos países asiáticos conta-se com a ANF-Asia Nano Forum, com o Comitê de Medidas de Segurança para nanomateriais do Japão e com a Chinese Academy of Sciences, SAICM e International Council on Nanotechnology – ICON. Nos Estados Unidos observa-se o Ato de Controle de Substâncias Tóxicas (TSCA), as ações do National Institute for Health (NIH) e FDA (Food and Drug Administration). Contudo, até o presente momento não se verifica uma legislação global específica ou unificada para os nanomateriais, logo, “os nanoproductos são registrados nos mais variados países através das agências reguladoras específicas daquele país, sendo cada situação avaliada individualmente (HANKIN; CABALLERO, 2014; ENGELMANN; PULZ, 2015)”.

No Brasil e em outros países da América Latina, de acordo com FOLADORI et al. (2012), o desenvolvimento da nanotecnologia é uma política pública prioritária cujo objetivo principal é angariar fundos de investimento para desenvolvimento da pesquisa e da indústria técnica nessa área, tanto para o setor público quanto para o setor privado. Existem três características semelhantes identificadas nesse processo, que são:

- ✓ A estruturação de centros de excelência incorporado à indústria.
- ✓ A omissão desses países quanto às questões relacionadas com a proteção do trabalhador e do consumidor frente aos possíveis riscos dessa tecnologia.
- ✓ A ausência da participação da sociedade nas decisões de política pública.

A respeito da regulamentação da nanotecnologia no Brasil, alguns autores destacaram que o Brasil não é um exemplo de preocupação com responsabilidade na política dessa tecnologia.

Ao pesquisar-se sobre projetos de lei que visam regulamentar a nanotecnologia no Brasil, constatou-se que foram três projetos de lei, sendo o primeiro de 2005, que foi arquivado, pois havia o entendimento de que o controle de risco nanotecnológico poderia impactar negativamente nos investimentos de projetos e pesquisa nessa área. Já os outros dois projetos de lei propostos em 2013 continuam em tramitação na câmara dos Deputados (LAZZARETT, L. L.; HUPFFER, H. M., 2019).

Conforme, Magela, (2020), a Comissão de Constituição e Justiça (CCJ) aprovou, no dia 19/02/2020, o Marco Legal da Nanotecnologia, com incentivos à pesquisa e à capacitação científica e tecnológica e à formação de recursos

humanos na área da nanotecnologia. Do senador Jorginho Mello (PL-SC), o PL 880/2019 segue para análise da Comissão de Ciência e Tecnologia (CCT). O projeto traz como estratégias: apoiar o desenvolvimento e a utilização de nanotecnologias por empresas brasileiras, melhorar a qualidade dos produtos e serviços com insumos nanotecnológicos, e contribuir para o aumento da produtividade e da competitividade no mercado internacional. Além disso comentou que:

- ✓ O relator, senador Rodrigo Cunha (PSDB-AL), sugeriu várias mudanças ao projeto em um texto substitutivo. Ele retirou do texto original a previsão de criação dos Programas Nacionais de Nanossecurança, de Descoberta Inteligente de Novos Materiais e de Desenvolvimento de Materiais Avançados, porque a criação dos programas não pode ocorrer por iniciativa do Poder Legislativo, por ser prerrogativa dos Executivos federal e dos estados e municípios.

Referentes às normas comentou que:

- ✓ De acordo com o substitutivo, o Marco Legal da Nanotecnologia deve estimular o desenvolvimento científico, a pesquisa e a capacitação na área. As atividades de inovação devem observar princípios como precaução, sustentabilidade ambiental, solidariedade, responsabilidade do produtor, boa-fé, cooperação, lealdade e transparência entre todos os agentes envolvidos.
- ✓ Por sugestão do Ministério Público do Trabalho, o relator, senador Rodrigo Cunha (PSDB-AL), incluiu no texto diretrizes para assegurar a redução dos riscos à saúde, à higiene e à segurança. Entre elas, avaliação e controle dos possíveis impactos à saúde dos trabalhadores, formação, educação e capacitação profissional permanente e incentivo à inclusão de pessoas com deficiência no mercado de trabalho.
- ✓ Pelo texto, compete à União, aos estados, ao Distrito Federal e aos municípios investir no sistema de inovação brasileiro e promover a formação de recursos humanos na área de nanotecnologia. Também é de competência de todos os entes da Federação estimular e apoiar

alianças estratégicas e projetos de cooperação entre empresas, instituições de pesquisa científica e tecnológica (ICTs) e entidades privadas sem fins lucrativos voltados para atividades de pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologia.

- ✓ O acompanhamento, a avaliação e a revisão da política pública para a nanotecnologia serão definidos em regulamento, a ser definido por cada esfera da Federação.
- ✓ A regulamentação deve prever a participação de representantes do governo, de setores empresariais, das universidades e da sociedade civil organizada.

Referentes aos princípios :

- ✓ O projeto altera a Lei de Inovação Tecnológica (Lei 10.973, de 2004) para incluir a nanotecnologia no rol de setores beneficiados com medidas de incentivo à inovação e à pesquisa científica. As ações devem observar princípios ambientais, éticos, sanitários e de segurança, além de estimular o empreendedorismo e fortalecer o ecossistema de inovação do Brasil.
- ✓ O PL 880/2019 introduz ainda novos conceitos na Lei de Inovação Tecnológica. O texto prevê, por exemplo, a Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia, uma política nacional “com o objetivo de criar, integrar e fortalecer ações governamentais para promover o desenvolvimento científico e tecnológico da nanotecnologia”. O projeto inclui ainda o Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNano), com caráter multiusuário e de acesso aberto a instituições públicas e privadas.
- ✓ A proposta também altera a Lei das Licitações (Lei 8.666, de 1993) para que os serviços produzidos com insumos manufaturados brasileiros que tenham utilizado nanotecnologia ou novos materiais tenham margem de preferência em concorrências públicas.

Segundo, Engema (2020), em que pese a pré aprovação do Projeto de Lei nº 880 , destaca-se dez pontos que podem ser contemplados e debatidos, relacionados a nanotecnologia, com o propósito de qualificar a legislação brasileira

relacionados ao Marco Legal de Nanotecnologia Brasileira, sem prejuízo de outros aspectos também relevantes:

- I) Definição de conceitos específicos do tema “nanotecnologia”;
- II) Divisão e constituição da nova legislação em todos os aspectos que estão relacionados a nanotecnologia, como por exemplo, aspectos sociais, aspectos científicos, aspectos econômicos, aspectos técnicos, entre outros;
- III) Definição sobre a Política de incentivo, promoção e fomento da nanotecnologia no Brasil;
- IV) Definição sobre os aspectos estratégicos da Política Nacional de Nanotecnologia;
- V) Alteração de leis relacionadas a nanotecnologia como por exemplo, o Código de Defesa do Consumidor naquilo que cabe;
- VI) Definição de Metas e objetivos da Política Nacional de Nanotecnologia;
- VII) Inclusão de um Capítulo sobre o tema BIONANOTECCNOLOGIA;
- VIII) Inclusão de um Capítulo sobre o tema “PROPRIEDADE INDUSTRIAL E NANOTECCNOLOGIA”;
- IX) Inclusão de um Quadro Geral de Produção NANO;
- X) Inclusão de um Capítulo específico sobre a natureza nanoambiental; Um capítulo específico sobre “Materiais Avançados”.

Para melhor ilustração do cenário legislativo Brasileiro sobre nanotecnologia, é de se avaliar a tabela 5 abaixo, que representa um resumo comparativo dos Projetos de Lei sobre nanotecnologia no Brasil:

Tabela 5 - Mapa das propostas legislativas apresentadas ao Congresso Nacional por meio dos Projetos de Lei relacionados ao tema nanotecnologia

PL 5076/2005	PL 5133/2013	PL 6471/2013	PL 880/2019
Projeto de 06.05.2005. Dispõe sobre a pesquisa e o uso de nanotecnologia no Brasil	Dispõe sobre a regulamentação da rotulagem de embalagens de produtos de origem nano.	Projeto de Lei de 11.11.2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Nanotecnologia, a pesquisa, a produção, o destino de rejeitos e o uso da nanotecnologia no país, e dá outras providências.	Institui o Marco Legal da Nanotecnologia e Materiais Avançados no Brasil. Também dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação nanotecnológica; altera as Leis nº 10.973, de 2 de 6 dezembro de 2004, e nº 8.666, de 21 de junho de 1993.

Fonte: Engema/2020

Vale ressaltar, que o Projeto de Lei nº 880 é a primeira iniciativa brasileira regulamentada sobre a Nanotecnologia no Brasil, sendo esperada por muito tempo e merece ser aclamada por todos brasileiros, que tanto deseja um quadro legislativo equilibrado para todos.

4.12 Patentes na área de Nanotecnologia.

De acordo com os dados da Tabela 6, apresentados abaixo, os dez principais países, referentes a Pedidos de patentes de acordo com o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes na área de Nanotecnologia, com a somatória total entre 1999-2017 são:

1º Estados Unidos - 11.768

2º Japão - 5.511

3º Alemanha - 2.068

4º Coréia	- 1.707
5º França	- 1.115
6º Reino Unido	- 1.040
7º China	- 829
8º Austrália	- 508
9º Canadá	- 493
10º Israel	- 372
11º Brasil	- 99

Tabela 6 - Comparações Internacionais – Patentes – EPO.

Pedidos de patentes de acordo com o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes PCT, na sigla em inglês), na área de Nanotecnologia, segundo o país de residência do inventor e data de prioridade, de países selecionados, 1999-2017.

Comparações Internacionais - Patentes – EPO

País	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
África do Sul	1	1	1	1	1	1	3	5	1	2	3	7	3	3	1	-	-	-	-
Alemanha	79	104	119	143	145	164	156	185	192	146	146	127	111	86	42	30	40	26	27
Argentina	-	-	-	0,2	-	-	0,3	1	1	0,3	-	1	-	1	-	-	-	-	-
Austrália	11	10	21	16	18	18	10	9	16	18	12	16	11	18	15	15	27	11	11
Brasil	-	1	3	2	2	3	4	7	7	5	6	4	15	12	6	7	8	6	1
Canadá	6	21	27	31	25	29	30	27	36	32	22	39	22	23	25	19	31	25	23
China	2	4	11	13	10	14	22	22	15	23	35	68	89	68	43	71	102	104	113
Cingapura	3	5	7	9	8	16	20	17	26	24	27	35	34	32	35	20	16	23	23
Coréia	6	7	17	34	53	61	104	94	98	126	184	185	198	133	134	97	70	69	37
Espanha	3	5	3	7	5	14	13	9	13	26	30	40	33	25	27	34	16	20	11
Estados Unidos	360	504	694	718	746	906	898	870	720	657	683	721	791	577	379	311	401	452	380
França	26	40	56	45	70	66	80	62	81	69	76	93	90	85	45	32	36	36	27
Índia	0,3	2	2	7	20	8	10	12	10	18	19	29	24	21	27	12	8	6	8
Israel	10	15	19	17	18	17	39	18	28	26	20	21	16	26	19	11	19	17	16
Itália	2	5	7	18	7	22	15	21	22	21	15	26	21	12	12	13	12	11	6
Japão	84	139	178	256	338	371	374	381	535	516	463	436	477	305	116	140	145	148	109
México	-	-	-	-	1	3	1	4	3	3	3	2	3	1	4	6	6	-	2
Portugal	1	1	1	-	-	1	0,2	2	0,3	1	2	4	2	-	2	1	3	3	0,4
Reino Unido	42	34	61	77	68	66	59	61	64	59	59	56	91	56	44	46	32	39	26
Rússia	8	6	9	4	8	7	14	7	11	12	20	18	40	27	31	20	17	15	17

Fonte: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE. Disponível em: http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PATS_IPC. Acessado em 15/03/2021.

Elaboração: Coordenação de Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação (COICT) - CGPI/DGI/SEXEC - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)

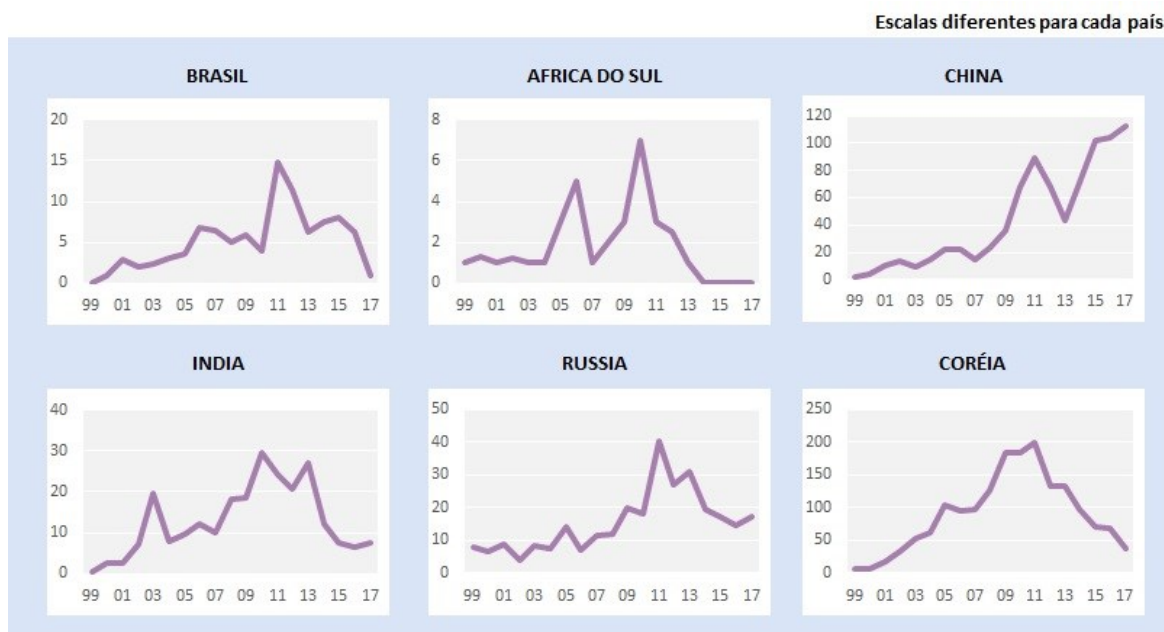
Atualizada em: 16/03/2021

O número total de 99 Pedidos de Patentes das Empresas de Nanotecnologia no Brasil não reflete a realidade atual. Segundo Nunes, CF (2018), as Empresas

Brasileiras de Nanotecnologia preferem preservar seus investimentos em pesquisa por meio do segredo industrial, gerando exclusividade de mercado e dificultando, aos possíveis concorrentes, a possibilidade de engenharia reversa. Sabe-se que, a combinação de segredo industrial e patente pode ser valiosa, gerando valor estratégico e financeiro às empresas, porém a proteção através do segredo industrial exige menos recursos financeiros e não têm datas de expiração, talvez, por este motivo ainda, seja a mais escolhida entre as empresas brasileiras. No entanto, adverte-se que os segredos industriais podem ser mais difíceis de manter quando uma empresa de nanotecnologia aumenta de tamanho e mais profissionais estão envolvidos na conservação desta informação, por meio de termos contratuais com os envolvidos nos processos de desenvolvimento. Ressalta-se ainda, que o segredo industrial pode ser uma ferramenta defensiva de proteção, enquanto a patente é ofensiva. Além de que, a divulgação de uma patente pode ser uma excelente maneira de levantar capital e investimentos. Segue abaixo a tabela 7 sobre as comparações internacionais das Patentes.

Tabela 7 - Comparações Internacionais - Patentes – EPO com escalas diferentes por país. Pedidos de patentes de acordo com o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes PCT, na sigla em inglês), na área de Nanotecnologia, segundo o país de residência do inventor e data de prioridade, de países selecionados, 1999-2017.

Comparações Internacionais - Patentes – EPO com escalas diferentes por país



Fonte: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE. Disponível em: http://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=PATS_IPC. Acessado em 15/03/2021.

Elaboração: Coordenação de Indicadores de Ciência, Tecnologia e Inovação (COICT) -

CGPI/DGI/SEXEC - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI)
Atualizada em: 16/03/2021

Conforme os gráficos referentes aos Pedidos de patentes de acordo com o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes PCT na área de Nanotecnologia entre os anos 1999-2017 dos países relacionados acima, podemos dizer que eles tiveram um ápice no crescimento nos seguintes anos:

- ✓ Brasil - 2011
- ✓ África do Sul - 2010
- ✓ China - 2011
- ✓ Índia - 2010
- ✓ Rússia - 2011
- ✓ Coreia - 2011

Vale ressaltar que nos anos de 2010, 2011 e 2012, como pode ser evidenciado acima houve um sensível aumento nos números de pedidos para patentes, devido as seguintes situações mencionadas, quadro sobre "FATOS RELEVANTES PARA A ÁREA DE NANOTECNOLOGIA NO BRASIL (FERREIRA, V.B, 2018)":

2010 - Apoio a 17 novas redes cooperativas através do edital MCT/CNPq nº 74/2010.

2011 - Aberta uma chamada pública MCTI/CNPq nº 17/2011. Apoio à criação de redes cooperativas de pesquisa e desenvolvimento em nanotoxicologia e nanoinstrumentação.

2012 - Lançamento do Edital MCTI/CNPq nº 16/2012 pela CGNT em conjunto com o CNPq, para apoiar tecnologias inovadoras e/ou aumento da produção, prototipagem de escala em nanotecnologia e que apoiou 25 projetos com investimento total de pouco mais de R\$ 6 milhões.

Informações gerais sobre patentes podem ser obtidas no item correspondente de <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/6653/NotageralPatentes.html>ceitos, disponível no MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. O conjunto de dados fornece a contagem fracionada de patentes, pois a patente pode ter mais de um inventor.

São relacionados os pedidos de patentes de acordo com o Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT, na sigla em Inglês), na área de Biotecnologia, segundo o país de residência do inventor, por data de prioridade de 1999 em diante.

Este levantamento foi feito com os dados presentes no portal da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Primeira data de preenchimento internacional de um pedido de patente, em qualquer lugar do mundo, para proteger a invenção. É a data mais antiga disponível e, portanto é a mais próxima da data da invenção, a fim de proporcionar uma medida relevante da atividade inventiva, segundo MCTI (mctic.gov.br).

O país de residência do inventor é a indicação da inventividade da força de trabalho local (pesquisadores, laboratórios) em um determinado país.

O Tratado de Cooperação em Matéria de Patentes (PCT, na sigla em Inglês), adotado em 1970, e administrado pela Organização Mundial da Propriedade Intelectual (OMPI), dispõe sobre o depósito, a pesquisa (busca por anterioridades), a publicação e o exame de pedidos internacionais. O PCT é um tratado multilateral que permite requerer a proteção patentária de uma invenção, simultaneamente, num grande número de países, por intermédio do depósito de um único Pedido Internacional de Patente. Este tratado conta com 146 países signatários (até Março de 2013), entre eles o Brasil. O PCT tem um objetivo principal: simplificar e tornar mais eficientes e econômicos os métodos anteriores e tradicionais de requerer a proteção de patente de invenção, em diversos países, no interesse dos usuários do sistema de patentes e dos Institutos, que tem a responsabilidade de administrá-lo. O PCT facilita a obtenção de patentes nos países contratantes, prevendo o depósito de um Pedido Internacional, que pode em seguida ser processado nos diversos Escritórios Oficiais nacionais ou regionais dos Estados Contratantes do PCT.

O PCT permite que o pedido feito num país seja enviado para as outras nações designadas pelo depositante. O PCT apresenta o propósito de disseminar de modo mais eficaz o conhecimento técnico contido na documentação da patente.

Para informações mais detalhadas sobre o PCT rever a Nota Geral de Patentes, ou http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/6653/Nota_geral_Patentes.html.

4.13 Investimento Mundial na Área de Nanotecnologia.

Há vários comentários no passado sobre investimento para o mercado global da Nanotecnologia, envolvendo a produção e a comercialização de produtos e equipamentos. Das mais às menos otimistas, todas convergem para o valor de mais de um trilhão de dólares, em 2015. Os mais otimistas chegam a falar em US\$ 3,5 trilhões, em 2015, como é o caso de Josh Wolf, da Lux Capital (USA) (ABDI, 2010). Segundo ele, o mercado global de nanotecnologia faturou, em 2007, cerca de US\$ 146,4 bilhões. Este tamanho de mercado – juntamente com o potencial multi-industrial da nanotecnologia – tem feito crescer o interesse de governos, corporações, empresas de capital de risco e pesquisadores acadêmicos pela nanotecnologia. Existem no mundo mais de 60 iniciativas nacionais voltadas para a área. Para o governo americano, de 1997 a 2005, aproximadamente US\$ 18 bilhões foram investidos globalmente em nanotecnologia.

Realmente ninguém pode negar que o mercado da Nanotecnologia é altamente promissor. Em 10 de dezembro de 2018, o site da StatNano divulgou que foram comercializados 8.523 nanoprodutos, produzidos por 2.084 companhias em 59 países (StatNano, 2018). Novos produtos e aplicações com nanotecnologia são lançados em praticamente todas as áreas e em velocidade crescente. Entre os dez principais setores com produtos e aplicações com nanotecnologia, conforme StatNano (2018), o campeão em nanoprodutos é o setor eletrônico, que já disponibilizou no mercado consumidor 2.050 produtos, seguido da área de medicina com 972, cosméticos com 780, setor têxtil com 696, construção civil com 645, automotivo com 539, meio ambiente com 526, energias renováveis com 467, setor de alimentação com 335 e setor petroquímico com 302 produtos nanoengenheirados.

A nanotecnologia é uma realidade presente em inúmeros produtos e aplicações comercializados por diferentes setores econômicos. Foi movimentado cerca de 4 trilhões de dólares no mundo no ano de 2018. Empresas e governos investem bilhões em pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologias no mundo.

Países como Estados Unidos da América e o Canadá são os que mais investem nesse setor. Só na área da saúde, o mercado mundial de produtos faturou cerca de 160 bilhões de dólares em 2015. Comparado com outros países, o investimento no Brasil é mais modesto (BARBOSA; BAGATTOLLI; INVERNIZZI, 2018).

Barbosa, Bagattolli e Invernizzi (2018) realizaram um mapeamento de todos os projetos aprovados com recursos não reembolsáveis da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) no período de 2006 até 2016 e registraram que a FINEP concedeu R\$ 81,29 milhões para 56 projetos em Nanotecnologia no período, e as empresas aportaram como contrapartida um valor médio de R\$ 1,45 milhão por projeto, cobrindo 60,2% do valor total dos mesmos (considerando o valor concedido mais contrapartidas das empresas) que ascendeu a R\$ 134,83 milhões.

O maior volume de recursos disponibilizado pela FINEP foi no ano de 2007. Chama a atenção no estudo realizado que, no período de 2014 até 2016, não foram lançados editais ou projeto especificamente para o desenvolvimento de pesquisas com nanotecnologia, o que revela “falta de priorização sustentada da NT (Nanotecnologia) neste instrumento estratégico de promoção da inovação” (BARBOSA; BAGATTOLLI; INVERNIZZI, 2018).

Ainda, conforme um ranking realizado pela StatNano (2017a), o qual posicionou os dez principais países que mais depositaram patentes em 2017, os Estados Unidos da América ocupam o primeiro lugar, correspondendo a 51,7% das patentes da United States Patents and Trademark Office (USTPO) e 34, 20% das patentes da European Patent Organization (EPO). A Coreia do Sul e o Japão ocupam, respectivamente, o segundo e o terceiro lugares. Já no Brasil, no ano de 2017, foram depositadas 14 patentes nanotecnológicas pela USTPO e 6 pela EPO.

O grupo StatNano (2017b) publicou um relatório realizado em janeiro de 2018 no qual foi analisada a quantidade de artigos sobre nanotecnologia indexados na base de dados Wef of Science em 2017 por países. Ao todo foram 154.000 artigos indexados nessa base de dados. Aproximadamente 52% dessas publicações foram realizadas por três países: China, EUA e Índia. Quando agrupa-se os cinco países que mais publicaram em 2017, China, EUA, Índia, Iran e Coréia, observa-se que esses países respondem a 62% de todos os artigos indexados na Web of Science. Nos últimos anos, a China tem ocupado o primeiro lugar no ranking dos países que mais publicaram trabalhos científicos com 56.000 artigos, seguido dos

Estados Unidos da América com 24.000 artigos. O Brasil ocupa a 17^o posição com 2.788 trabalhos publicados, correspondendo a 5,7% do total de artigos indexados em 2017, permanecendo com a mesma posição que teve “em 2016 com 2.471 artigos indexados na base de dados da Web of Science, correspondendo a 1,8% do total de artigos publicados nessa base (StatNano, 2017c)”.

A implementação da nanotecnologia tornou-se estratégica para o desempenho econômico das nações. Estima-se que, atualmente existam no “mercado mundial cerca de 8.878 produtos de base nanotecnológica e mais de 12 mil empresas em 53 países, bem como um faturamento global para 2020 seja de aproximadamente 3 trilhões de dólares americanos (PLANODEAÇÃO, 2019)”.

O uso de “nanomateriais com propriedades antimicrobianas ganha destaque em virtude da necessidade de desenvolver novos meios para combater microrganismos resistentes” e também para o reforço dos hábitos de higiene pessoal da população no contexto da pandemia de COVID 19 (Pelgrift, Friedman, 2013). “A resistência aos antimicrobianos é uma das principais ameaças a saúde pública global em razão da diminuição da eficácia dos fármacos frente as infecções, promovendo o aumento da mortalidade, dos riscos dos procedimentos médicos e os custos com a saúde (WHO, 2021)”. Diante disso, é crucial o desenvolvimento de novos agentes com diferentes mecanismos de ação em relação aos fármacos em uso, e a nanotecnologia se mostra promissora para este propósito. A atividade antimicrobiana das nanopartículas está relacionada com a sua capacidade de interagir com a membrana celular das bactérias, de inativar o processos de replicação do DNA, de geração de espécies reativas de oxigênio que resulta na inibição de funções enzimáticas; do rompimento da membrana celular de fungos e do bloqueio da ligação viral à superfície da célula. (Pelgrift, Friedman, 2013; DIZAJ, et al., 2014; FERNANDO, GUNASEKARA, HOLTON, 2018). Por apresentarem um conjunto diversificado de mecanismos de ação, a obtenção de resistência às nanopartículas pelos microrganismos torna-se muito difícil (Pelgrift, Friedman, 2013; FERNANDO, GUNASEKARA, HOLTON, 2018).

As formulações de antibióticos em escala nanométrica têm mostrado melhor eficácia que os fármacos convencionais por possibilitarem a entrega direcionada do fármaco aos locais de infecção e liberação do composto de forma continuada e controlada (OMOLO, et al., 2017; PATRA, et al., 2018).

“A perspectiva de investimento do mercado têxtil para 2025, por exemplo, é de 3,3 bilhões de dólares (ANTIMICROBIALTEXTILE, 2021)”, e no mercado de plástico antimicrobiano (aplicados em embalagens, automotivo, bens de consumo, medicina e saúde, construção e outros) a estimativa de investimento é de 22,9 bilhões de dólares até 2025 (ANTIMICROBIALPLASTIC, 2021)”. Os nanomateriais têm se mostrado promissores para a geração de produtos em diversas aplicações. Os antimicrobianos nanoestruturados têm sido considerados como uma boa alternativa em conjunto aos ativos usuais e, devido aos ganhos em eficácia e custo-benefício, as aplicações desses materiais têm sido ampliadas para vários produtos.

4.14 Nanotecnologia e sua influência social.

O impacto da nanotecnologia na sociedade ocorre, nos dias atuais, principalmente no contexto da nanoeletrônica com relação às tecnologias móveis (smartphones, notebooks, tablets, dentre outras) que causaram diversas transformações sócio-culturais na civilização em suas últimas décadas e isto inclui as rápidas mudanças nas gerações após a globalização com o avanço científico-tecnológico e seu fácil acesso, dado o surgimento da geração neo millennials (ANTUNES; BACKX, 2020).

Os âmbitos da conjuntura social influenciados abrangem diversas escalas, onde o poder da internet e das tecnologias móveis são capazes de influir até mesmo na política por serem realizadas campanhas com maior impacto, em maioria, online através das mídias sociais como pôde ser observado nas eleições presidenciais dos Estados Unidos da América (EUA) em 2016 e do Brasil em 2018 (LONDOÑO e DARLINGTON, 2018). Estes fatos demonstram que o ambiente virtual e o ciberespaço, criado e acessível através da sinergia entre as tecnologias da informação e a nanotecnologia, podem influenciar a realidade física de maneira surpreendente e sem a miniaturização dos computadores com a nanoeletrônica e os nanomateriais não haveriam tecnologias móveis como as conhecemos hoje para que ocorresse tamanha repercussão social.

Além disso, vale ressaltar que as diversas nanotecnologias que compõem a indústria 4.0 gerarão mudanças de valores éticos e comportamentais, além de causar elevado impacto nas profissões ao extinguir determinadas funções e formações na medida em que vai proporcionando o surgimento de outras.

Compreendendo os impactos de grandes transformações sociais causadas pelas tecnologias, especialistas como SCHWAB (2016) apontam que a convergência das tecnologias, a criação de redes de controle de fluxo de dados físicos e virtuais bem como as prestações de serviços globais interligadas trazem alguns riscos político-sociais com relação à velocidade em que estes contextos transformam e remodelam as relações sociais em dissonância com relação ao próprio sujeito social, a amplitude e a profundidade que estas sistemáticas podem trazer com as mudanças na produção de bens de consumo e o impacto sistêmico que uma revolução de magnitude exponencial pode causar no mundo.

O prefixo nano vem sendo introduzido na sociedade através de produtos e serviços e traz com ele uma impressão de alta tecnologia atrelada a um bem potencialmente melhor quando comparado ao tradicional. A mídia e a indústria cinematográfica projetam a nanotecnologia aliada a engenharia de materiais, medicina, dentre outras como um potencial agente de aumento de eficiência. De certa forma, esta manobra transfigura-se em uma nova tecnologia consonante aos avanços da humanidade; todavia é válido ressaltar que ainda é necessário muito estudo sobre os impactos, em longo prazo, desta tecnologia.

Consoante ANTUNES & BACKX, (2020), todos os valores e impactos, por fim, devem ser analisados sobre a óptica da saúde, do bem-estar e do meio ambiente a fim de percebermos que, mesmo que o processo de revolução nanotecnológica em sinergia com as ciências da computação estejam em seu início, já há muito impacto, por exemplo, na necessidade de percepção de efeitos imediatos na vida dos indivíduos com a comunicação contínua pelas redes sociais e smartphones, além das alterações nas dinâmicas de trabalho e funções laborais requisitadas e valorizadas no mercado.

4.15 Nanotecnologia e o Meio Ambiente.

O meio ambiente vem despertando interesses em grupos de pesquisas em todo o mundo no que concerne à sustentabilidade e proteção do planeta ou até mesmo como fornecedor de matérias primas importantes em protocolos que antes tinham vertentes exclusivamente químicas e tóxicas ao meio ambiente e hoje possuem rotas que utilizam recursos verdes como microrganismos e plantas.

A nanotecnologia verde de acordo com ANTUNES & BACKX, (2020), é uma vertente da ciência capaz de desenvolver produtos eficientes, a baixo custo e com quase nulo impacto ambiental, solucionando uma problemática conhecida na nanotecnologia que se refere aos produtos nanotecnológicos e seus impactos no ecossistema. Sendo que a nanotecnologia também pode atuar em consonância com os 12 princípios da química verde, onde em uma das suas principais premissas, benéficas ao meio ambiente se estabelecem o uso da menor quantidade de átomos possíveis para sintetizar dispositivos ou realizar processos químicos e, a partir das engenharias nanotecnológicas, isto pode ser realidade na grande maioria dos produtos.

As buscas por minimizar impactos ambientais fazem com que pesquisadores tais como, PRASAD et al. (2017), busquem soluções para o cuidado da lavoura com as nanocápsulas de pesticidas que liberam o agrotóxico no interior do inseto. Outro recurso nanotecnológico utilizado em plantações refere-se à utilização de nanosensores que acusam carência de insumos àquela planta e tornam possíveis as liberações de nutrientes específicos a demanda de cada vegetal, tais como a água, substâncias essenciais bem como nutrientes complementares para o desenvolvimento ideal da planta.

Por fim, vale ressaltar, segundo RAJA et al. (2015), que os descartes de materiais nanoestruturados com o seu crescente uso em processos e produtos industriais, incluindo a indústria do petróleo e do gás, promovem o crescimento do 'nanolixo' que possui consequências ainda não muito claras aos ecossistemas. Neste sentido, no contexto hodierno, geralmente a indústria e a academia têm os mesmos cuidados, precauções e procedimentos para o uso e descarte de nanotecnologias que substâncias químicas perigosas, mesmo que não sejam tóxicas ou danosas quando comparadas aos produtos químicos de alto risco. Todavia, devido ao tamanho e propriedades diferenciadas que estes materiais apresentam, os nanomateriais devem ser descartados de maneira única de acordo com sua composição química, riscos moleculares e ambientais envolvidos, dentre diversos outros parâmetros que ainda estão sendo discutidos por especialistas da ciência e da lei ao redor do globo.

4.16 Territórios Mercantis dos Nanoprodutos.

Os territórios mercantis, com o mundo globalizado é fundamentado em interesses econômicos, intensifica-se ainda mais as trocas de mercadorias e produtos por todo o mundo. Dessa circulação de mercadorias, muitos dos produtos são produzidos a partir de nanotecnologia. Além disso, essa circulação pode ser realizada legalmente ou ilegalmente através de mercados formais e informais em diversos locais do mundo (CENCI & PEREIRA, 2017).

Portanto, é necessário uma regulação internacional de nanoprodutos, pois mesmo já existindo regulação da nanotecnologia em alguns países, não se garante que nanoprodutos não adentrem seus territórios. Existe a carência de uma normatização que garanta a saúde do trabalhador que possa ser exposto pela nanotecnologia, pela falta de uma regulação internacional que evite a transação de nanoprodutos pelo mundo todo.

Recortes temáticos são propostos, assim, desterritorializando para uma análise de riscos dos nanoprodutos à saúde de trabalhadores, consumidores e ao meio ambiente e reterritorializar esses riscos, levando em consideração o espaço, especificamente os territórios mercantis, a partir da teoria do risco.

De acordo com GIDDENS (1997), há uma diferença entre os riscos que vem tomando proporção atualmente, do que aqueles que já existiam, atualmente o próprio homem acaba por desenvolver o risco, são criadas técnicas para uma melhor qualidade de vida, no entanto, não se pensa em uma prevenção para as consequências que essas técnicas possam vir a causar.

Portanto, GIDDENS diferencia os riscos externos dos riscos internos. Os externos são aqueles os quais advém da própria natureza, e os riscos internos são os que o próprio ser humano provoca.

A sociedade atual provoca uma inversão desses riscos, sendo que atualmente, os riscos internos são mais frequentes que os riscos externos, ou seja, os riscos provocados pela sociedade moderna está cada vez mais frequente no dia-a-dia. A inversão decorre em riscos ambientais.

Pode-se analisar, então, que quanto maior o desenvolvimento, maiores serão os riscos e impactos ambientais. Segundo o autor, risco advém em decorrência da modernidade reflexiva. Que de acordo com MATTEDI (2002), modernização reflexiva se resume em um desenvolvimento das instituições

modernas em que prevalece a incerteza artificial, que se relaciona com o risco, que acaba por conceituar pelos problemas gerados do desenvolvimento da sociedade moderna.

Sendo assim, o autor GIDDENS (1997) divide o processo de modernização reflexiva em três etapas. Sendo primeiramente pela globalização, fazendo com que a modernização seja em curto período de espaço e tempo, auxiliando no processo de propagação em curto período de tempo e espaço de informações e eventos que ocorrem em determinado local, mas acabam por alcançar o mundo todo. Como segunda etapa, menciona a reflexibilidade, ou seja, é sobre a mudança do cotidiano dos indivíduos, cada vez mais a sociedade reflete seus interesses e suas formas de agir. Por fim, a terceira etapa, que é a mencionada pelo autor é a quebra de padrões tradicionais, não desaparecendo, mas sim expondo seus fundamentos.

BECK (1997) comenta que a sociedade moderna, no seu inerente dinamismo, está acabando com suas formações de classe, camadas sociais, ocupação, papéis dos sexos, família nuclear, agricultura, setores empresariais, e, é claro, também com os pré-requisitos e as formas contínuas do progresso técnico-econômico. Este novo estágio, em que o processo pode se transformar em autodestruição, em que um tipo de modernização destrói outro e o modifica, é o que ele chama de etapa de modernização reflexiva.

Portanto, pela ideia do autor GIDDENS (1997), os riscos decorrem do avançado processo de industrialização sobre o ambiente natural. Isso ocorre com a Nanotecnologia, que surgiu com o intuito de melhorar e tornar mais prática a vida humana, mas ao mesmo tempo que foi desenvolvida, há pouco conhecimento sobre as consequências que possa vir a causar.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho se desenvolveu na forma de uma revisão bibliográfica sobre o assunto, nos principais bases de dados, físicos e/ou digitais, de acesso público e/ou regulamentado. Publicações relacionadas às novas tecnologias do Centro Ecológico e com o apoio da Fundação Heinrich Böll, o Marco Legal da Nanotecnologia, com incentivos à pesquisa e à capacitação científica e tecnológica e à formação de recursos humanos na área da nanotecnologia, Revistas Unicentro e Revista Capital Científico. As metodologias aplicadas foram as ferramentas 5W2H com priorização GUT e QCA com a finalidade de obter os dezesseis principais tópicos para a Revisão de Literatura.

Foram pesquisadas as palavras chaves nanotecnologia e nanomaterial nos seguintes sites buscas:

- ✓ Google Search.
- ✓ Google Acadêmico.
- ✓ Science.
- ✓ ScienceDirect

Em 2021, apenas no mês de outubro, o termo *nanotecnologia* apareceu na *Web de Google Search* 2,400,000, *Google Acadêmico* 41.500, *Science* 1922 e no *ScienceDirect* com 143,099 e 87,700 artigos científicos, respectivamente; por sua vez, o termo *nanomaterial* foi citado em *Google Search* 23,000,000, *Google Acadêmico* 508.000, *Science* 942 e no *ScienceDirect* 171,958 e 11,032 artigos Científicos

Tabela 8 – Pesquisa de Palavras Chaves em Outubro/2021.

Pesquisa de Palavras Chaves em Outubro/2021					
Palavras Chaves	Google Search	Google Acadêmico	Science	Science Direct	Artigos Científicos
Nanotecnologia	2.400.000	41.500	1922	143.099	41.500
Nanomaterial	23.000.000	508.000	942	171.958	11.032

Isto significa que está ocorrendo uma divulgação de conhecimento científico, importante para o desenvolvimento da sociedade. Entretanto, “alguns desafios em nanociência e nanotecnologia ainda devem ser superados através de parcerias e estratégias, por parte dos setores acadêmico e industrial, de forma que a nanotecnologia possa realmente cumprir seu papel no contexto sócio-econômico e tecnológico mundial (TOMA,H.E., 2005)”.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nos séculos VI e XV, nos vitrais de algumas das catedrais europeias, teve a presença de nanopartículas de cloreto de ouro e óxido de cloretos metálicos diversos, espalhando diferentes cores. Esta manipulação, a nível molecular, ocorreu de forma não intencional (G1, 2013; JACOBI, 2014). No século XIX, o renomado cientista inglês Michael Faraday publicou, em seu artigo intitulado “Experimental relations of gold (and other metals) to light” em 1857, que uma das propriedades das nanopartículas de ouro aumentava a absorção da luz emitindo diferentes cores de acordo com o tamanho das nanopartículas. Reportou a formação de soluções coloidais vermelhas de ouro feitas por redução de cloridrato (AuCl_4^-) por fósforo em CS_2 (sistema de duas fases) (THOMPSON, 2007; (FERREIRA & RANGEL, 2009), sem compreender totalmente ainda estas propriedades, tal qual como os romanos do século IV. No início do século XX, Gustav Mie, físico alemão, fez uma avaliação quantitativa relacionada ao fenômeno proposto por Faraday e assumiu que “foi o resultado da oscilação coletiva dos elétrons confinados nestas partículas e a homogeneidade das partículas ao seu redor foram descritíveis por suas funções ópticas dielétricas em bulk (MIE, 1908; ALVAREZ et al., 1997; BHARATHI; LEV, 1997)”.

Martins P.R. (2006) ressalta a importância das discussões sobre a sustentabilidade da sociedade, do ponto de vista ambiental e econômico, frente aos impactos dos principais avanços tecnológicos, os quais significam a construção de uma nova natureza: a quebra da barreira entre as espécies com a introdução de genes, proporcionada pela biotecnologia; a quebra da barreira entre orgânico e inorgânico proporcionada pela nanotecnologia e; a construção de novos materiais a partir de elementos químicos naturais e sintéticos proporcionada pela nanotecnologia.

Sob o aspecto econômico o autor (Martins P.R.) sugere reflexões acerca da possibilidade das nanotecnologias serem antidistributivas, uma vez que as pesquisas nessa área são caras e complexas, dificilmente acessíveis a pequenas organizações. Isso implicaria na intensificação do poder de monopólio das grandes corporações, que já são as que aportam investimentos às pesquisas em nanotecnologias. Esta também é uma das preocupações de Mooney (2006), nos

alertando sobre a concentração de poder nas mãos das grandes empresas em relação aos processos decisórios e à utilização da nanotecnologia.

Centro Ecológico (2009) apresenta os seguintes resultados de discussões levantados sobre a Nanotecnologia: Parece ser a maior e mais ampla onda tecnológica enfrentada até hoje pela humanidade; Os novos materiais nanotecnológicos têm o potencial de derrubar o mercado de commodities, além de desregular o comércio e a vida dos trabalhadores mais pobres e mais vulneráveis, pois estes não têm flexibilidade econômica para responder às demandas imediatas de novas capacidades ou de diferentes matérias primas; Os nanomateriais podem deslocar fatias de mercado, cadeias de suprimentos e postos de trabalho em praticamente todas as indústrias; Se um novo material nanoengenheirado tiver um desempenho melhor do que um material convencional e puder ser produzido a um custo mais baixo, é de se esperar que o nanomaterial substitua a commodity convencional; Todo material novo deveria ser feito avaliações de saúde e segurança anteriormente de ser liberado para uso comercial.

Segundo CANCINO, Juliana; MARANGONI, Valéria S.; ZUCOLOTTI, Valtencir, (2014), a comissão brasileira que participa dos fóruns organizados pela ISO, expõe a falta de recursos humanos (especialistas, analistas e técnicos) qualificados para analisar pedidos de liberação e padronizações, para que o processo de regulamentação no país não fique aquém daquele existente em países da Europa e Estados Unidos.

Torna-se extremamente importante e essencial o princípio da precaução no caso da Nanotecnologia com as implicações na saúde humana, porque os organismos vivos irão ingerir alimentos que ainda não temos o conhecimento suficiente sobre a existência ou não de efeitos negativos no médio e longo prazo. Essa é uma questão que requer uma atenção maior quando comparado ao uso de equipamentos e máquinas (fibra ótica, lentes de óculos, etc.), os quais não apresentam riscos dessa natureza.

Atualmente, não há legislação específica sobre Nanotecnologia, somente um Projeto de lei nº 880, que foi aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça no dia 19 de fevereiro de 2020. Assim sendo, não existe protocolos acordados e padronizados referentes a nanopartículas aos testes de toxicidade e avaliação dos impactos ambientais, mostrando deste modo a necessidade de análises confiáveis, atenuando potenciais impactos à saúde e o ambiente. Deste modo,

“o governo interpreta que não existe nada que impossibilite a venda desses nanoproductos.

É importante levar em consideração, que a Regulação de Nanotecnologia seja de âmbito internacional, a fim de garantir não apenas a saúde dos consumidores e bem estar do meio ambiente, como também avaliar os riscos que a nanotecnologia possa oferecer aos trabalhadores no decorrer do processo. Já que se tratando de circulação de nanoproductos, não existem fronteiras.

Vale mencionar sobre o Plano de Ação em CT&I (Encti 2016-2022), que busca orientar a implementação das ações para a área de Nanotecnologia, de forma a contribuir com o desenvolvimento econômico e social do País. Por se tratar de um tema transversal, ela perpassa praticamente todos os setores industriais, em todas as etapas de produção, desde o processo de fabricação até a utilização pelo usuário final e seu descarte. Inclusive o Plano de Ação tem o acompanhamento e a revisão periódica das iniciativas do MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações). Além disso, o Plano de Ação (Encti 2016-2022) envolvem ações referentes ao suporte para o estabelecimento de um Marco Regulatório para Nanotecnologias, de maneira a propiciar a segurança jurídica necessária para estimular a confiança de investidores e consumidores. Além do mais que estabelece critérios para garantir a qualidade e a segurança dos nanomateriais e nanoproductos, como também os procedimentos necessários para certificação dos nanomateriais e nanoproductos, de maneira que o setor produtivo e os investidores tenham referência das normas que devem seguir. Assim sendo, o Plano de Ação (Encti 2016-2022) do MCTIC está indo de encontro com os interesses da empresa, da academia e do governo, como também, há medidas para assegurar a redução de riscos à saúde, à higiene e à segurança (PLANODEAÇÃO 2019-2022).

Considerando que toda a nova tecnologia carece de uma regulamentação específica, o presente trabalho busca chamar à atenção sobre o que não se pode jamais ser descartado, que o MCTIC (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações) ter sempre uma boa sinergia, flexibilização e desburocratização entre os três poderes do Brasil: Executivo, Legislativo e Judiciário. Como também, ter um excelente relacionamento entre os Acadêmicos e os Empresários, para que possam juntos poder gerenciar projetos de tamanha envergadura como a Nanotecnologia.

7 CONCLUSÕES

Atualmente, é extremamente difícil determinar qual a segurança dos nanomateriais devido à total ignorância sobre a sua toxicologia e sobre muitos aspectos do que acontece com eles. Ainda nem sequer as pessoas em geral conseguem entender a natureza e as propriedades da maioria dos nanomateriais. Não se conhece quase nada sobre o tempo que esses materiais ficam ativos no ambiente, sobre níveis seguros de exposição para humanos e para ecossistemas, e não foram feitos estudos de longo prazo.

A lista do que precisa ser feito sobre nanotecnologia é imensa. Além de ser necessário mais pesquisas urgentes, porque as investigações feitas até a presente data ainda não são o suficiente para saber profundamente sobre a Nanotecnologias e suas aplicações. Se faz necessário desenvolver métodos e ferramentas para mensurar, identificar e controlar nanomateriais produzidos e inseridos em produtos, inclusive que seja feito uma avaliação do seu ciclo de vida, contendo fabricação, transporte, uso, reciclagem e eliminação dos resíduos para que se observem seus efeitos sobre o meio ambiente, à saúde e a segurança.

O direito ao saber inclui o direito de possuir conhecimento que possibilite a tomar decisões bem informadas. Portanto, a transparência é imprescindível, caso contrário, fere o direito do consumidor à informação adequada e clara sobre os diferentes produtos e serviços, com especificação correta de quantidade, características, composição, qualidade e preço, bem como sobre os riscos que apresentem. Os fabricantes precisam informar nos rótulos a presença deles.

Mesmo que esteja sobre a mesa de negociação os padrões para proteger a saúde humana e o ambiente, os governantes ainda têm como foco principal liberar o caminho para o nanocomércio. Devido ao fato, que a indústria criou uma ideia junto aos governos de que está havendo uma corrida científica, a qual eles não podem se aceitar perder.

Com relação ao Projeto de Lei nº 880/2019, esse estudo aponta que é merecedor de algumas inclusões e alterações, para colaborar de modo específico, para uma perspectiva mais qualificada de um assunto de tamanha magnitude como é a Nanotecnologia. Sendo que, uma regulamentação bem orquestrada com princípio da precaução e transparência atrai segurança jurídica, investimentos, atenção e proporciona um ambiente auspicioso.

Espera-se que a divulgação do estudo com as informações revisadas e atualizadas sobre Nanotecnologia, possam auxiliar a esclarecer dúvidas a respeito desta tecnologia, sobre as vantagens e desvantagens das aplicações da Nanotecnologia e chamar à atenção sobre os riscos que podem estarem ocorrendo os seres humanos por permanecerem alheios a ela, pois até o presente momento, não há qualquer exigência legal de rotular nano-materiais nos produtos gerados por eles.

A atual realidade em que o mundo se encontra não mais permite viver de modo isolado, indiferente com os rumos da humanidade e às questões no tocante das novas tecnologias, assim o ser humano não se pode sujeitar-se a ser um mero observador, sua participação se faz necessária para a busca de um desenvolvimento consciente, benéfico e sustentável.

Cabe à Engenharia Ambiental avaliar continuamente o desenvolvimento das tecnologias no ponto de vista do seu potencial risco, buscando alternativas e soluções que minimizem ou eliminem os possíveis danos ao meio ambiente ou à saúde.

REFERÊNCIAS

ABDI, 2010 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL). Cartilha sobre Nanotecnologia, 2010, 60 pp. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/36572216/cartilha-nanotecnologia-abdi>.

Acesso em: 14 dez. 2021.

ABDI, 2013 (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL). Relatório de Nanotecnologia. Relatório de Acompanhamento Setorial. Nanotecnologia na Área da Saúde, Mercado, Segurança e Regulamentação. Brasília, 2013. Disponível em: . Acesso em: 17 out. 2021.

ABDI, 2016 (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial). “Agenda Tecnológica Setorial – ATS Complexo Industrial da Saúde Nanotecnologia Panorama Econômico”, 2016, 86 pp.

ADENEY e OPPENHEIM, 2011. “Comparison of two physical light blocking agents for sunscreen lotions”. Agilent Technologies, 2011. Disponível em: <http://www.agilent.com>. Acesso em: 22 out. 2021.

AJAYAN, CHARLIER e RINZLER, 1999. “Carbon nanotubes: From macromolecules to nanotechnology”. Washington: PNAS, v. 96, 1999.

ALVAREZ, et al., 1997. “Optical Absorption Spectra of Nanocrystal Gold Molecules”. In The Journal of Physical Chemistry B, vol. 101, 1997 no 19, 04 de março de 1997, 3706–3712 pp.

ALVES, 2004. “Nanotecnologia, nanociência e nanomateriais: quando a distância entre presente e futuro não é apenas questão de tempo”. Parcerias Estratégicas. Brasília, n.18, p. 23-40, ago. 2004. Disponível em: . Acesso em: 17 out. 2021.

ALVES, 2005. Nanotecnologia e desenvolvimento. Campinas: Laboratório de Química em Estado Sólido, Unicamp, 2005. Disponível em: http://lqes.iqm.unicamp.br/images/pontos_vista_artigo_divulgacao_35_1_nanotecnologia_desenvolvimento.pdf. Acesso em: 16 out. 2021.

Andre Nel, et al., 2006. Toxic Potential of Materials at the Nanolevel, 311 Science 622-27, 622, 623 Fig. 1 (2006).

ANTIMICROBIALTEXTILE, 2021. Disponível em https://www.researchandmarkets.com/reports/5143395/antimicrobial-textile-marketbyactiveagents?utm_source=GNOM&utm_medium=PressRelease&utm_code=2g58sr&utm_campaign=1437244++Global+Antimicrobial+Textile+Markets+to+2025%3a+Massive+Use+of+Antimicrobial+Textiles+in+Hospitals&utm_exec=chdo54prd. Acessado em 25 out. 2021.

ANTIMICROBIALPLASTIC, 2021. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/antimicrobial-plastic-market20591555.html#:~:text=%5B171%20Pages%20Report%5D%20The%20antimicrobial,at%20a%20CAGR%20of%2010.1%25.&text=Growing%20demand%20for%20antimicrobial%20plastics,various%20opportunities%20for%20the%20manufacturers>. Acessado em: 25 out. 2021.

ANTUNES; BACKX, (2020). Nanotecnologia e seus impactos na sociedade. R. Tecnol. Soc., Curitiba, v. 16, n. 40, p. 1-15, abr/jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9870>. Acesso em: 19 out. 2021.

BANKINTER, 2006. “Nanotecnología: La Revolución Industrial del Siglo XXI”. Fundación de la innovación Bankinter, Fundación Accenture. Espanha, p.18-77. 2006.

BARBOSA; BAGATTOLLI; INVERNIZZI (2018). Política de Inovação em Nanotecnologia no Brasil: A trajetória dos instrumentos financeiros não reembolsáveis. Revista Tecnologia e Sociedade, v. 14, n. 31, p. 56-74, maio/agos. 2018. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/5970>. Acesso em: 14 dez. 2021.

Barros (2011). “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”. Disponível: [file:///C:/Users/Sandr/Downloads/barrosrmsm%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Sandr/Downloads/barrosrmsm%20(3).pdf). Acesso em 05 ago. 2021.

Bastos (2006). “Nanotecnologia: Uma revolução no desenvolvimento de novos produtos”. Disponível: https://www.ufjf.br/engenhariadeproducao/files/2014/09/2006_1_Ricardo.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

BECK (1997). “A reinvenção da política: rumo a uma teoria da modernização reflexiva”. In: BECK, Ulrich; GIDDENS, Antony; LASH, Scott. Modernização reflexiva: política, tradição e estética na ordem social moderna. Tradução: Magda Lopes. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1997, p. 73-133.

BHARATHI; LEV, 1997: “Direct synthesis of gold nanodispersions in sol-gel derived silicate sols, gels and films”. Disponível: <https://doi.org/10.1039/A705609E>. Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL, et al., 2008. Departamento de Ciência e Tecnologia, Política nacional de ciência, tecnologia e inovação em saúde, 2 edição, Brasília, Editora do Ministério da Saúde, Série B. Textos básicos em saúde, 2008, 44 pp.

BRASIL, 2004a. Constituição Federal (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações adotadas pelas Emendas Constitucionais. N° 1/92 a 42/2203 e pelas Emendas Constitucionais de Revisão n° 1 a 6/94. Brasília: Subsecretaria de Edições Técnicas, Senado Federal, 2004a.

BUSSINGER; TOSE, 2017. Bioética e nanotecnologia: a moralidade como princípio orientador na busca pela formulação de marcos regulatórios aos nanocosméticos. *Revista de Direito Constitucional e Internacional*. v. 101, p.181-198, maio/jun. 2017. Disponível em: <<http://bdjur.stj.jus/jspui/handle/2011/111121>>. Acesso em: 11 out. 2021.

CANCINO, Juliana; MARANGONI, Valéria S.; ZUCOLOTTI, Valtencir. "Nanotecnologia em medicina: aspectos fundamentais e principais preocupações". *Química Nova*, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 521-526, 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20140086> > DOI: 10.5935/0100-4042.20140086. Acesso em: 11 out. 2021.

Camara & Souza (2010). "Crise Ambiental e Desenvolvimento Sustentável: a nanotecnologia como uma das soluções de longo prazo". Disponível: <https://revistas.unicentro.br/index.php/capitalcientifico/article/view/1028/1275>. Acesso em: 08 jul. 2021.

CENCI & PEREIRA, 2017. TERRITÓRIO E RISCO NOS MODELOS DE REGULAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA EM ANTHONY GIDDENS. Disponível em: <http://cng.org.br/system/uploads/publication/a65275c4c1af0b47932c914817668d64/file/publicacao-2-inovacao-tecnologica-e-marco-legal-do-brasil.pdf>. Acesso em : 17 out. 2021.

Centro Ecológico (2009). "Aplicações das nanotecnologias na cadeia alimentar – agricultura e alimentos". Disponível <http://www.centroecologico.org.br/novastecnologias/novastecnologias1.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

Centro Ecológico, 2009. "A nanoagricultura e os nanoalimentos significam novos riscos ambientais". Disponível: http://www.centroecologico.org.br/NovasTecnologias/novastecnologias_1.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

Centro Ecológico, 2009. "A manipulação do Invisível", publicado pelo Centro Ecológico em 2009,". Disponível: http://www.centroecologico.org.br/NovasTecnologias/novastecnologias_1.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

CHARRIÈRE e DUNNING, 2014. Timeline: Nanotechnology Policy and Regulation in Canada, Australia, the European Union, the United Kingdom, and the United States. Ottawa: uOttawa, 2014.

COMISSÃO EUROPEIA (2011). Recomendação da Comissão de 18 de Outubro de 2011 sobre a definição de nanomaterial JOUE, L275 (2011), pp. 38-40.

CONSUMERS COUNCIL OF CANADA, 2009. "Nanotechnology and Its Impact on Consumers". Toronto, p. 2. 2009.

DAVIDSON, 2004. Molecular Expressions, 2004. Disponível em: <http://micro.magnet.fsu.edu/>. Acesso em: 22 out.2021

DE JESUS, FREIRE e GUIMARÃES, 2012. “Grafeno: Aplicações e Tendências Tecnológicas”. Revista de Química Industrial, Rio de Janeiro, v. 737, p. 14-19, 2012.

DELAFORTRIE e SPRINGAEL, 2014. “La Belgique met en place un registre des Nanomatériaux”. Bruxelas, p. 1. 2014.

DE LIMA, 2008. Emprego de Nanopartículas Sólidas na Liberação de Fármacos Pouco Solúveis. Setor de Ciências da Saúde, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 38. 2008.

DIAS, et al., 2021. “A NANOTECNOLOGIA NO BRASIL E O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS COM ATIVIDADE ANTIMICROBIANA”. Assuntos Gerais - Quim. Nova 44 (08), 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170743>. Acesso em: 25 out. 2021.

DIZAJ, et al., 2014. “Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles”. *Microb. Pathog.* 2018, 123, 505. Disponível: <https://europepmc.org/article/med/25280707>. Acesso em: 25 out. 2021.

DOS SANTOS, 2010. “Análise do princípio básico de funcionamento do STM”. Universidade Federal do Amapá. Macapá, p. 67. 2010.

DREXLER, 1987. Engines of Creation – The coming era of nanotechnology. Nova Iorque: Anchor Books, 1987.

DREXLER, 1991. Nanosystems: Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation. 1. ed. Nova Iorque: John Wiley and Sons, 1991.

DUNNING, 2010. “Timeline: Nanotechnology Policy and Regulation in Canada, Australia, the EU, the UK and US”. Ottawa: Carleton University, 2010

DVORACKOVA, et al. (2009). Nanopatologia: partículas nanométricas em tecidos de amígdalas humanas. *Virchows Archiv*, v. 455 (Suppl 1): S1-S482, p.401-4001, 2009. DOI 10.1007/s00428-009-0805-z. Acesso em: 18 out. 2021.

ENGELMANN; PULZ, 2015. As nanotecnologias no panorama regulatório: entre a ausência de regulação estatal específica e a necessidade de harmonização regulatória não estatal. *Revista Iberoamericana de Filosofia, Política y Humanidades, Araucária*, año 17, n. 33, p. 151-181, Primer semestre de 2015. Disponível em: <https://revistascientificas.us.es/index.php/araucaria/article/view/716> Acesso em: 17 out. 2021.

ENGELMANN; MARTIN, 2017. As Normas ISO e as nanotecnologias: entre a autorregulação e o pluralismo jurídico. [e-book] / São Leopoldo: Karywa, 2017. 224p.

Engema (2020). “A NOVA LEGISLAÇÃO DA NANOTECNOLOGIA NO BRASIL”. Disponível: <http://engemausp.submissao.com.br/22/arquivos/669.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2011. "Multi-Walled Carbon Nanotubes; Significant New Use Rule. Washington". 2011.

FERNANDES; FILGUEIRAS, 2008. Um panorama da nanotecnologia no Brasil (e seus macrodesafios). *Química Nova*, Rio de Janeiro, v. 31, n. 8, p. 2.205-2.213, 2008.

FERNANDO; GUNASEKARA; HOLTON; 2018. Antimicrobial Nanoparticles: applications and mechanism of action. *Sri Lanka Journal of Infectious Diseases* 2018, 8, 2.

Ferreira AP, Sant'Anna LS 2015. "A Nanotecnologia e a Questão da sua Regulação no Brasil: Impactos à Saúde e ao Ambiente". *UNIANDRADE* 16(3): 119-128. Disponível: <https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/15157/2/171-866-1-PB.pdf>. Acesso em: 04 out. 2021.

FERREIRA; RANGEL, 2009. "Nanotecnologia: aspectos gerais e potencial de aplicação em catálise", In *Química Nova*, v. 32, 2009, num. 7, 04 de agosto de 2009, 1860–1870 pp.

FERREIRA, 2018. "Nanotecnologia e sua importância no contexto brasileiro". In: *E-science e políticas públicas para ciência, tecnologia e inovação no Brasil* [online]. Salvador: EDUFBA, 2018, pp. 97- 106. ISBN: 978-85-232-1865-2. <https://doi.org/10.7476/9788523218652.0007>. Acesso em: 12 out. 2021.

Feynman (1960). "There's Plenty of Room at the Bottom". *Engineering and Science*, 23 (5). pp. 22-36. ISSN 0013-7812. Disponível <https://resolver.caltech.edu/CaltechES:23.5.1960Bottom>. Acesso em: 08 jul. 2021.

FLEISCHER, 1966. *Fantastic Voyage* [Filme-video]. Produção de: Saul David , direção de: Richard Fleischer. Estados Unidos da América: 20th Century Fox. 1966.

FOLADORI; INVERNIZZI (2016). La regulación de las nanotecnologías: una mirada desde las diferencias EUA-UE. *Visa em Debate*. Rio de Janeiro, v.4, n. 2, p. 8-20, 2016, p. 11. Disponível em: DOI:10.3395/2317-269x.00726. Acesso em: 18 out. 2021.

FONSECA, 2016. "Políticas Públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação: possíveis contribuições para uma governança responsável da nanotecnologia no Brasil", In *Nanotecnologias, Desenvolvimento e Meio ambiente*. Revista do Programa de Pós-Graduação em Sociologia / Programa de Pós-Graduação em Sociologia, Universidade Federal de Sergipe, vol. 2016, num. 29, São Cristovão, jul./dez., 83-120 pp.

FORREST, 1989. "Regulating Nanotechnology Development. Foresight Institute", 1989. Disponível em: <http://www.foresight.org>. Acesso em: 22 out. 2021.

FREY, 2009. "Magnetic nanoparticles: synthesis, functionalization, and applications in bioimaging and magnetic energy storage". *Chemical Society Reviews*, n. 9, 2009.

FU, et al., 2004. "Molecular and nanoscale materials and devices in electronics. *Advances in Colloid and Interface Science*", v. 111, p. 133-157, 2004.

G1, 2013. <http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2013/08/taca-de-1600-anos-que-muda-decor-ja-usava-principios-de-nanotecnologia.html>. Acesso em: 20 out. 2021.

Gai, P. L.; Roper, R.; White, M. G.; *Curr. Opin. Solid State Mater. Sci.* **2002**, 6, 401.

GALEMBECK e RIPPEL, 2004. *Nanotecnologia: Estratégias Institucionais e de Empresas*. Instituto de Química da Unicamp e Instituto do Milênio de Materiais Complexos. Campinas, p. 109. 2004.

GALEMBECK, F. et al. *Microscopia de sondas: uma caixa de ferramentas da nanotecnologia*. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 65, p. 37-43, 2013.

GAMA, 2013. *Uma Proposta para o Ensino de Nanociência e da Nanotecnologia, nas aulas de Física do Ensino Médio*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências). Universidade de São Paulo., São Paulo, p. 129, 2013.

GATTI (2014). *Nanomedicine and Nanopathology: Two Opposit*, 2014.

GATTI (2016). *Nano-biointeraction and nanopathology*. *Medical Science News*, Ouc. 2016. Disponível em: <http://www.news-medical.net/news/20161031/Nano-biointeraction-and-nanopathology.aspx> . Acesso em: 17 out. 2021

GIDDENS (1997). "A vida em uma sociedade pós-tradicional". In: BECK, Ulrich; GIDDENS, Antony; LASH, Scott. *Modernização reflexiva: política, tradição e estética na ordem social moderna*. Tradução: Magda Lopes. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1997, p. 73-133.

GIERGIEL, 2006. "Nanoknowledge – nanotechnology: yesterday, today, tomorrow". *Mechanics and Mechanical Engineering*, v. 10, p. 21-32, 2006.

GRANADA, 2011. "Propriedades ópticas de materiais no ensino médio por meio da nanociência". Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física e de Matemática da Área de Ciências. Santa Maria, p. 93. 2011.

Grupo ETC (Environmental Toxicology and Chemistry) do livro "A manipulação do Invisível", publicado pelo Centro Ecológico em 2009, ASA Brasil e Rede Ecovida de Agroecologia, com apoio da Fundação Heinrich Böll. Disponível em: http://www.centroecologico.org.br/novastecnologias/novas_tecnologias_1.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

GUPTA e SINGH, 2014. "Nano Car – The Era of Nanotechnology". International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering, v. 3, p. 30-32, 2014.

HANKIN; CABALLERO, 2014. Regulação da Nanotecnologia no Brasil e na União Europeia. Diálogos Setoriais União Europeia – Brasil. Brasília: MCTI, 2014. Disponível em: http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/dialogos_setoriais__nanotecnologia_portugues.pdf. Acesso em: 17 out. 2021.

HENK, 2007. Nanotechnologies, Ethics and Politics. UNESCO. Paris, p. 244. 2007.

Hette (2004), "Nanotechnology: small matter, many unknowns", de 2004, da resseguradora internacional Swiss Re. Disponível: <https://www.nanowerk.com/nanotechnology/reports/reportpdf/report93.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2021.

HM GOVERNMENT, 2010. "UK Nanotechnologies Strategy: Small Technologies, Great Opportunities". Reino Unido, p. 56. 2010.

HUPFFER, Haide Maria; ENGELMANN, Wilson. As Nanotecnológicas: entre Autorregulação e Governança. ENGELMANN, Wilson; HUPFFER, Haide Maria (Org.). Impactos Sociais e Jurídicos das Nanotecnologias. 1.ed. São Leopoldo: Casa Leiria, 2017. Disponível em E-Book.

IBERDROLA (2021), "Nanotecnologia: uma pequena solução para grandes problemas". Disponível em: <https://www.iberdrola.com/innovacao/aplicacoes-da-nanotecnologia>. Acesso em: 11 ago. 2021.

INSCX - GLOBAL SALES OF NANOMATERIALS. Suppliers of Nanomaterials – Online Ordering for Delivery Worldwide. Disponível em: <https://inscx.com/shop/>. Acesso em: 19 out. 2021.

INTERDISCIPLINAR". Disponível: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1128>. Acesso em: 08 jul. 2021.

JACOBI, M. M., "El admirable mundo Nano: Nanociencia y Nanotecnología" In SLTCAUCHO, 2014, num. 4, 8-15 pp.

JACOBSTEIN e REYNOLDS, 2004. "Foresight Guidelines Version 4.0: Self Assessment Scorecards for Safer Development of Nanotechnology". Foresight Institute. Palo Alto, p. 5. 2004.

JORGE, 2011. Nanotecnologia: aplicação, conceitos e futuro. Ecodebate Cidadania e Meio Ambiente, 2011. Disponível em: Acesso em: 20 out. 2021.

JOY, 2000. Why the future doesn't need us. Wired, 2000.

KELTY, 2007. "Ética y Política de la Nanotecnología. UNESCO. Paris, p. 27. 2007.

Labib, S., Williams, A., Yauk, C.L. *et al.* Nano-risk Science: application of toxicogenomics in an adverse outcome pathway framework for risk assessment of multi-walled carbon nanotubes. *Part Fibre Toxicol* **13**, 15 (2015). <https://doi.org/10.1186/s12989-016-0125-9>

LAZZARETTI; HUPFFER, (2019). “ **Nanotecnologia e sua regulamentação no Brasil**”. *Gestão e Desenvolvimento*, v. 16, n. 3, p. 153-177, 2019. Disponível em: <file:///C:/Users/Sandr/Downloads/1792-Texto%20do%20artigo-6028-1-1020190905.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.

LEHN, 1987. *Supramolecular Chemistry – Scope and Perspectives – Molecules – Supermolecules – Molecular Devices*. Nobel lecture, Paris, p. 444-491, 1987.

LIJIMA, 1991. Helical microtubules of graphitic carbon. *Nature*, v. 56, p. 354, 1991.

LILLO, V. (2015). “Nanotecnologia, a aliada do meio ambiente”. Disponível em: <https://www.ambientelegal.com.br/nanotecnologia-a-aliada-do-meio-ambiente/>. Acesso em: 16 out. 2021.

LOCATELLI, et al., 2004. “National regulatory institutions and discussion groups. In: MALSCH, I. 4th Benefits, Risks, Ethical, Legal and Social Aspects of Nanotechnology”. Bélgica: [s.n.], 2004. p. 14-28.

LONGO, 2004. *Nanotecnologia*. Reunião Anual da SBPC. Cuiabá. 2004.

LOOS, 2014. *Nanociência e nanotecnologia: Compósitos Termofixos Reforçados com Nanotubos de Carbono*. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

LOURO, BORGES, SILVA (2013). “Nanomateriais manufaturados: novos desafios para a saúde pública. Disponível em: <https://www.elsevier.es/en-revista-revista-portuguesa-saude-publica - 323 - artigo - nanomateriaismanufaturadosnovos Desafios-saude-S087090251200039>. Acesso em: 15 out. 2021.

Magela, 2020. “Marco Legal da Nanotecnologia é aprovado na CCJ”. Agência Senado. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2020/02/19/marco-legal-da-nanotecnologia-avanca>. Acesso em: 08 jul. 2021.

MANOHARAN, LUTZ e EIGLER, 1999. “Quantum mirages formed by coherent projection of electronic structure. *Nature*”, v. 403, p. 512- 515, 1999.

MANOR, 2001.” *Frontiers of Molecular Science. Nobel Prize, 2001*”. Disponível em: <http://www.nobelprize.org>. Acesso em: 22 out. 2021.

MARTINEZ; ALVES, 2013. Interação de Nanomateriais com Biosistemas e a Nanotoxicologia: na Direção de uma Regulamentação. *Ciência e Cultura*. São Paulo, v. 65, n. 3, p. 32-36, jul. 2013. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252013000300012. Acesso em: 17 out. 2021.

MATTEDI (2002). “As interpretações sociológicas das Dinâmicas Sociais de Construção do Risco na Sociedade Moderna”. *Revista Grifos*. Chapecó: Argos, n. 13, nov de 2002.

PATRA, et al., 2018.; “Nano based drug delivery systems: recent developments and future prospects”. *J. Nanobiotechnol*, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12951-018-0392-8>. Acesso em: 25 out. 2021.

MARTINS, 2009. “Nanotecnologia e meio ambiente para uma sociedade sustentável”. *Nanotecnología*, p. 293-309, 2009.

MARTINS, M.F.R. (2013), “NANOTECNOLOGIA – BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO SOBRE AS APLICAÇÕES E IMPLICAÇÕES”, **Revista Militar**, Nº 2539/2540 – Agosto/Setembro de 2013. Disponível em: <https://www.revistamilitar.pt/artigo/841>. Acesso em: 12 out. 2021.

Martins, P.R. (2006). “Nanotecnologia, sociedade e meio ambiente”. São Paulo: Xamã, 2006 *E-book*. Disponível em: http://www.ghente.org/publicacoes/nanotecnologia_sociedade_meio_ambiente_II.pdf. Acesso em: 06 ago. 2021.

Martins, P.R. et al (2011). “Nanotecnologias na Indústria de Alimentos”. Disponível: https://www5.pucsp.br/eitt/downloads/vi_ciclo_paulomartins_marisabarbosa_nano_puc.pdf. Acesso em 05/08/2021.

MATTEDI (2002), Marcos Antônio. As interpretações sociológicas das Dinâmicas Sociais de Construção do Risco na Sociedade Moderna. *Revista Grifos*. Chapecó: Argos, n. 13, nov de 2002.

MEDEIROS; MATTOSO (2006). “Nanotecnologia: Introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação”. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2006

MELMED, 2002: A Biographical Memoir by ALLAN J. MELMED. The National Academy Press, Washington, D.C, v. 82, 2002.

MIE, 1908. “The Mie theory” is a **complete mathematical–physical theory of the scattering of electromagnetic wave by homogeneous spherical particles**, developed by Gustav Mie in 1908. In contrast to Rayleigh scattering, the Mie theory embraces all possible ratios of the particle radius to wavelength. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/mie-theory#:~:text=The%20Mie%20theory%20is%20a,the%20particle%20radius%20to%20wavelength>. Acesso em: 20 out. 2021.

MONIZ, 2013. Exposição profissional a nanopartículas na indústria farmacêutica – estudo exploratório. Dissertação (Mestrado em Segurança e Higiene no Trabalho). Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa. Lisboa, p. 161. 2013.

MCTI – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, (2021). “Comparações Internacionais - Patentes – EPO”. Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/indicadores/detalhe/comparacoesInternacionais/Patentes_8_4.8.html. Acesso em 12 out.2021.

MNYUSIWALLA, DAAR e SINGER, 2003. ‘Mind the gap’: science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology*, v. 14, p. R9–R13, 2003.

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

MORAN, 2011. The History of Robotic Surgery. In: HEMAL, A. K.;2011.

MÜLLER, PANITZ, MCCLEAN, 1968. “The atom probe field ion microscope”. *Scientific Instruments*, v. 39, p. 83, 1968.

NANOACTION, 2007. “Princípios para a supervisão de nanotecnologias e nanomateriais”. Disponível em: https://www.centerforfoodsafety.org/files/120132_icta_portugese_lo-rez_81903_82038.pdf. Acesso em 09 out.2021.

NANOMATERIAIS, 2021. “Nanomateriais: usos, implicações ambientais e riscos à saúde”. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/nanomateriais/>. Acesso em 09 out.2021.

NIELSEN, 2008. “Nanotechnology and Its Impact on Consumers”. EBN Consulting. Richmond, p. 104. 2008.

Nishimura & Bernuy (2011). “Nanotecnologia-Definição e suas aplicações na Engenharia Elétrica”. Disponível: <https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/18117/1/NANOTECONOLOGIADEFINI%C3%87%C3%83O%20E%20SUAS%20APLICA%C3%87%C3%95ES%20NA%20ENGENHARIA%20EL%C3%89TRICA.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2021.

NNI – National Nanotechnology Initiative, (2008). “Nanotechnology: Big Things from a Tiny Word”. Jul. 2008. Disponível em <http://www.nano.gov/node/240>; Acesso em: 14 out. 2021.

NUNES, CF, (2018). Relação das empresas de nanotecnologia em Santa Catarina com propriedade intelectual. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/206135/PITI0006D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em 13 out. 2021.

OECD, 2005 (Organização para a cooperação e desenvolvimento econômico). “Manual de Oslo”, FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos, terceira edição, 2005 .

OMOLO, et al., 2017. “Synthesis of an oleic acid based pH-responsive lipid and its application in nanodelivery of vancomycin”. *Eur. J. Pharm. Biopharm* 2017, 112, 96. Disponível em: https://researchspace.ukzn.ac.za/bitstream/handle/10413/17999/Mhule_Danford_David_2017.pdf;jsessionid=8BEA7903FD38ADB4333B37C2DD14CE8A?sequence=1. Acesso em: 25 out. 2021.

Paschoalino, M.P. et al (2010). “Os nanomateriais e a questão ambiental”, *Química Nova*; v.33, n.2, p.421-430, 2010. Disponível: <https://www.scielo.br/j/qn/a/J4kFgpGnQKH7yJ4w65JPhRq/?lang=pt>. Acesso em: 08 jul. 2021.

PASTRANA-MARTÍNEZ, L. M. et al., 2013. “Nanotubos e Grafeno: Os primos mais jovens na família do carbono!” *Química*, Porto, v. 128, p. 21-27, 2013.

PELLEY e SANER, 2009. *International Approaches to the Regulatory Governance of Nanotechnology*. Ottawa: Carleton University, 2009.

Pelgrift, Friedman, 2013. .Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance. *Adv. Drug Delivery Rev.* 2013, 65, 1803.

PEREIRA; WINCKLER; TEIXEIRA, 2016. *Cidadania e controle social na governança da nanotecnologia*. [e-book]. Karywa, 2016. 202p.

Pinelli, N., 2016. Benefícios que nanopartículas podem trazer para humanidade Disponível em: <https://revistagalileu.globo.com/Caminhos-para-o-futuro/Saude/noticia/2016/10/6->. Acesso em: 20 out. 2021.

PLANODEAÇÃO (2019-2022). Disponível em: https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/tecnologia/tecnologiasSetoriais/Plano-de-Acao-emCTI_Nanotecnologia_FINAL.pdf. Acesso em: 25 out. 2021

PRASAD et al. (2017). “Nanotechnology in Sustainable Agriculture: Recent Developments, Challenges, and Perspectives”. *Frontiers in Microbiology*, v. 8. Disponível: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.01014/full>. Acesso em 20 out. 2021.

Quina (2004). “Nanotecnologia e o meio ambiente: perspectivas e riscos”. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 6, p. 1028-1029, 2004. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n6/22297.pdf> > DOI: 10.1590/s0100-40422004000600031. Acesso em: 08 jul. 2021.

RAJA et al. (2015). Safe Handling and Disposal of Nanostructured Materials. p. 15, 2015. DOI: <https://doi.org/10.4043/25975-MS> SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. World Economic Forum. 1ª edição, editora Edipro. 2016. Acesso em: 20 out. 2021.

Reis (2020). “Nanotecnologia: Vantagens e Desvantagens”. *Revista Online, Curiosidades*, Março 17, 2020. Disponível em: <https://interessantissimo.pt/curiosidades/vantagens-desvantagensnanotecnologia/>. Acesso em: 10 ago.2021.

RESCH; FARINA, 2015. Mapa do Conhecimento em nanotecnologia no setor agroalimentar. Revista de Administração Mackenzie. São Paulo, v. 16, n. 3, p. 51-75, maio/jun., 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/167869712015/administracao.v16n3p51-75>. Acesso em: 17 out. 2021.

ROBINETT, W. et al., 1993. “The Nanomanipulator: A Virtual-Reality Interface for a Scanning Tunneling Microscope”. Proceedings of the 20th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 1993, Anaheim, p. 127-134, 1993.

ROCHA-FILHO, 1996. Os Fullerenos e sua espantosa geometria molecular. Química Nova na Escola, 1996.

ROCO et al., 2011. Innovative and responsible governance of nanotechnology for societal development. Journal of Nanoparticle Research. Santa Barbara, v. 13. p. 3557-3590. set, 2011. Disponível em: Acesso em: 17 out. 2021.

ROCO, WILLIAMS e ALIVISATOS, 1999. “Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report” – Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade. National Science and Technology Council (NSTC). Palo Alto, p. 262. 1999.

Santos Jr. & Santos (2008). “Nanotecnologia e riscos ambientais: uma reflexão sobre a “ingerência” das ciências humanas e sociais na construção de um debate crítico”,2008.Disponível:https://www.researchgate.net/publication/266578348_Nanotecnologia_e_Riscos_Ambientais_uma_Reflexao_sobre_a_Ingerencia_das_Ciencias_Humanas_e_Sociais_na_Construcao_de_um_Debate_Critico. Acesso em: 08 jul. 2021.

Santos Jr. & Santos (2016). “O Papel da (nano) ciência e da (nano) tecnologia nas políticas agrícolas brasileiras”. Disponível: https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Junior-5/publication/312271667_O_Papel_da_nano_ciencia_e_da_nano_tecnologia_nas_politicas_agricolas_brasileiras_revisitando_argumentos_historicos/links/5877eac808ae8fce492ffba9/O-Papel-da-nano-ciencia-e-da-nano-tecnologia-nas-politicas-agricolas-brasileiras-revisitando-argumentos-historicos.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

SARGENT JUNIOR e SHEA, 2014. The President's Office of Science and Technology Policy (OSTP): Issues for Congress. Congressional Research Service. Washington. 2014.

SCENIHR, 2004. "Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance". Europa. 2004.

SCENIHR (2009) - Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. "Risk assessment of products of nanotechnologies". Brussels: European Commission; 2009. Disponível em: http://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_023.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

SERRELI, et al., 2007. Exercising Demons: A Molecular Information Ratchet. Nature, v. 445, p. 523-527, 2007.

SHAH; POWERS, 2015. Nanotechnology-A path forward for developing nations. Materials Science and Engineering. n. 92, 2015. Disponível em: doi:10.1088/1757-899X/92/1/012001. Acesso em: 17 out. 2021.

SHATKIN (2013). Nanotechnology: Health and Environmental Risks. 20 ed. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013.

SINGH, 2017. Nanotechnology Innovations, Industrial Applications and Patents. Environmental Chemistry Letters. v. 15, p. 185-191, 2017. Disponível em: DOI 10.1007/s10311-017-0612-8. Acesso em: 17 out. 2021.

Silva (2003). "NANOTECNOLOGIA:NOVAS QUESTÕES ÉTICAS PARA O BRASIL", DIMENSÕES LEGAIS E SOCIAIS NUMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR". Disponível: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/cadernosdepesquisa/article/view/1128>. Acesso em: 08 jul. 2021.

SIQUEIRA-BATISTA, et al., 2010. Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Ciência e Educação, Bauru, v. 16, n. 2, p. 479-490, 2010.

SOM, et al. (2010). "The importance of life cycle concepts for the development of safe nanoproducts Toxicology", 269 (2010), pp. 160-169.

SOUSA, et al., 2018. NANOTECNOLOGIA E NANOCIÊNCIA: CONSIDERAÇÕES HISTÓRICA E INTERDISCIPLINAR. *Hegemonia*, (25), 28. <https://doi.org/10.47695/hegemonia.vi25.255>.

StatNano (2017a) .Top Ten Countries in Nanotechnology Patents in 2017. NanotechnologyProducts. Data Base (StatNano), 04 mar., 2018. Disponível em: <http://statnano.com/news/62082>. Acesso em: 19 out.2021.

StatNano (2017b). Publication of More Than Half of the Nanotechnology Articles of 2017 by the top three Countries. NanotechnologyProducts. Data Base (StatNano), 07 jan. 2018. Disponível em: <http://statnano.com/news/61353> . Acesso em: 19 out. 2021.

StatNano, 2017c. Ranking of Countries in Nanotechnology Publications in 2016. NanotechnologyProducts. Data Base (StatNano), 04 Jan., 2017. Disponível em: <http://statnano.com/news/57105>. Acesso em: 19 out. 2021.

StatNano (2018). Nanotechnology Products Database (StatNano). Introduction. Disponível em: [http:// product.statnano.com/](http://product.statnano.com/). Acesso em: 19 out. 2021.

SUCHMAN, M.C. Social Science and Nanotechnology. In: Nanotechnology: Revolutionary Opportunities & Societal Implications. EC-NSF 3rd Joint Workshop on Nanotechnology. Lecce, Italy, 2002.

SUFIAN et al (2017). Safety issues associated with the use of nanoparticles in human body. Photodiagnosis and Photodynamic Therapy. v. 19, p. 67-72, 2017, p. 68. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.pdpdt.2017.05.012>. Acesso em: 18 out. 2021.

TANG e CHENG, 2013. "Nonporous silica nanoparticles for nanomedicine application. Nanotoday", v. 8, n. 3, p. 290-312, 2013.

TANS, VERSCHUEREN e DEKKER, 1998. "Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube". Nature, v. 393, p. 49-52, 1998.

TECMUNDO (2021). "Inovações da Nanotecnologia". Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/busca?q=nanotecnologia&pagina=2>. Acesso em: 15 out.2021.

TECNOLOGIAS CONVERGENTES, 2021. "Nanotecnologia". Disponível em:http://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/tecnologias_convergentes/paginas/nanotecnologia/NANOTECONOLOGIA.html. Acessado em: 24 out. 2021.

TENÓRIO, VIANA.,2017. "Políticas de fomento à ciência, tecnologia e inovação em saúde no Brasil e o lugar da pesquisa clínica", In Ciência & Saúde Coletiva, vol. 22, 2017, num. 5, 1441- 1454 pp.

TGA (2009), Therapeutic Goods Administration. "A review of the scientific literature on the safety of nanoparticulate titanium dioxide or zinc oxide in sunscreens. Canberra, AU": Department of Health and Ageing. Australian Government; 2009. Disponível em: <http://www.tga.gov.au/pdf/review-sunscreens-060220.pdf>. Acesso em 15 out. 2021.

THE EUROPEAN PARLIAMENT, 2009. "Legislative acts and other instruments: regulation of the european parliament and of the council on cosmetic products (recast)". Europa. 2009.

THE ROYAL SOCIETY, 2004." Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties". Londres: [s.n.], 2004.

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES, 2014. "Surpassing the limitations of the light microscope". The Nobel Prize, 2014. Disponível em: <http://www.nobelprize.org>. Acesso em: 22 out. 2021.

THOMPSON, D. "Michael Faraday's recognition of ruby gold: the birth of modern nanotechnology." In Gold Bulletin, vol. 40, 2007, dezembro de 2007, num. 4, 267–269 pp.

TOMA, H. E., 2005. *Quim.Nova*, **2005**, 28 Suplemento, S48.

TRENTIN, et al.,2018. "O avanço da pesquisa científica e qualificação dos cientistas brasileiros", In Artigos e comunicações, Multi-Science Journal, vol. 1, 2018, num. 10, Goiás, janeiro de 2018, 9-11 pp.

Weinberg (2009). "SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS PERIGOSAS À SAÚDE E AO AMBIENTE". Guia do SAICM Para as ONGS, Curitiba- Paraná: p. 2-48. fev. 2009. Disponível: file:///C:/Users/Sandr/Downloads/subs_quimicas.pdf. Acesso em: 08 jul. 2021.

Wijnhoven SWP et al.(2010). Nanomaterials in consumer products: update of products on the European market in 2010. Bilthoven, NL: National Institute for Public Health and the Environment; 2011. (RIVM Report; 340370003/2010).Disponível em: <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/340370003.pdf>. Acesso em: 15 out. 2021.

WHO, 2021. "Antimicrobial resistance".Disponível em:<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>. Acesso em: 25 out. 2021.

YAGUI, et al., 2016. " Weaving of organic threads into a crystalline covalent organic framework. Science", v. 351, p. 365-369, 2016.

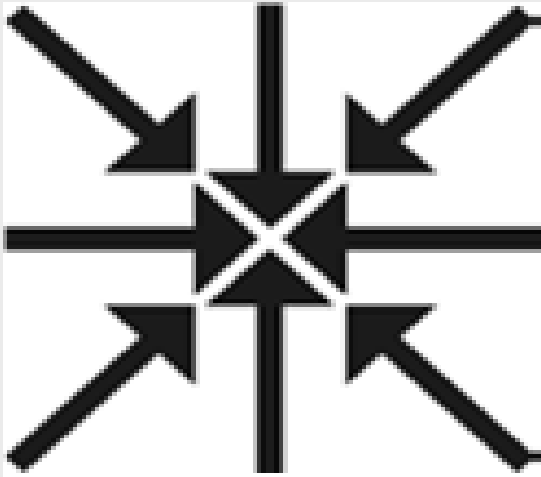
ZHANG, et al. Penta-graphene: A new carbon allotrope. PNAS, v. 112, p. 2372-2377

ANEXO

Anexo 1

TECNOLOGIA DE CONVERGÊNCIA: ISTO É NANOTECNOLOGIA!

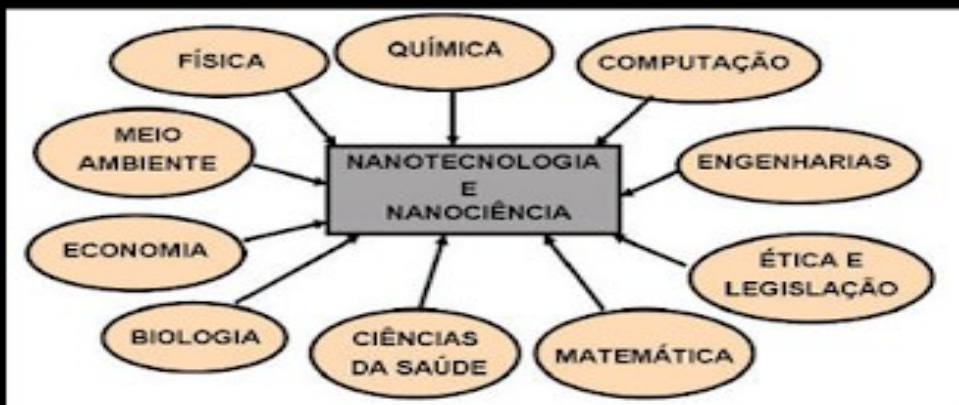
Você já deve ter ouvido que a nanociência e nanotecnologia são tecnologia e ciência de convergência.



A *N&N* apresenta um aspecto interessante sobre a natureza do conhecimento, ela é multidisciplinar. Inúmeros campos das ciências exatas e naturais encontram respaldo na nanotecnologia e na nanociência, sendo, é claro, altamente especializada em sua aplicação. Para alguns, a Nanotecnologia se tornou uma **supraciência**.

Na *N&N* a linha que separa os ramos de conhecimento e torna as disciplinas distintas se tornou demasiadamente tênue, e é por isto que a nomeamos como uma tecnologia de convergência.

O poder da ciência do invisível está realmente na convergência de disciplinas tradicionais como a Biologia, Matemática, Química e Física e das novas tecnologias emergentes no cenário mundial. Cria-se então, um novo paradigma científico.



CONVERGÊNCIA É MEU SEGUNDO NOME

Se existesse um sobre nome pra Nanotecnologia e para a Nanociência sem dúvida seria Convergência, é justamente esta característica tão importante que a faz delas tão flexíveis e versáteis. A convergência faz com que N&N toque ou tangencie todas as áreas de conhecimento que nós concebemos. É a verdadeira tecnologia de convergência!

Mas porque será que a nanotecnologia tem este poder de convergência? Explicamos: A nanotecnologia torna essa convergência possível, já que as unidades de construção de toda a matéria (átomos/moléculas) tem sua escala nano. Nessa escala, é possível a convergência entre o orgânico e o inorgânico. Para a nanotecnologia o DNA é uma molécula qualquer como se igualando a molécula mais simples de gás hidrogênio.

Essa convergência impar que só ocorre na nanotecnologia tem como consequência novos produtos e novas implicações na vida humana.

De várias formas é nomeado este novo paradigma, pelo GRUPO ETC ele é chamado de **BANG** (de **B**its, **Á**tomos, **N**eurônios, **G**enes), na América achamos referência de **NBICs** (de **N**anotecnologia, **B**iotecnologia, **I**nfornática e **C**iências cognitivas), e na comunidade européia é conhecido como **CTEK** (Convergentes para a sociedade Européia do Conhecimento).

Pensar na convergência tecnológica é ir muito além de questões como a toxicidade dos processos e dos produtos nanotecnológicos, por exemplo. Ela engloba aspectos imprevisíveis de ordem ética, social e ambiental, pois traz mudanças desconhecidas para toda a humanidade. As mudanças podem ser simples melhoria de vida ou impactos de



grandeza incalculável na sociedade, tanto para nossa geração como para as outras que virão.

O que sabemos é que assumir a nanotecnologia e suas implicações como tecnologia de convergência é uma faca de dois gumes que pode trazer benefícios, mas também riscos, assim como qualquer nova tecnologia.

Fonte: <http://colunano.blogspot.com/2011/03/tecnologia-de-convergencia-isto-e.html>.

Acesso em: 12 ago. 2021.