

UMA ANÁLISE DE EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS EM AÇÕES ESTRATÉGICAS DE PROMOÇÃO E INCENTIVO AO DESENVOLVIMENTO DA NANOTECNOLOGIA

MS. ANDRÉ STRINGHI FLORES

Universidade do Vale do Rio dos Sinos/Nanolaw, Assessoria Empresarial em Inovação, Brasil
andre@nanolaw.com.br

DRA. JANAÍNA RUFFONI

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Programa de Pós-Graduação em Economia, Brasil
janainart@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem o escopo precípuo de apresentar as principais diretrizes das políticas desenhadas em países líderes, em termos de produção científica, depósitos de patentes e investimentos em Iniciativas Nacionais focada em nanotecnologia no período entre 2000 a 2013. A seleção dos países estudados se deu por tratar-se de países que lideram o ranking em investimentos, depósitos de patentes e produção científica (EUA, China e Alemanha) e Rússia por se tratar de uma país do BRICS cuja perspectiva para os próximos anos é de grande ascensão. Ressalta-se o caráter exploratório e descritivo do estudo, envolvendo levantamento bibliográfico e análise documental e de dados secundários para fins de contextualização das experiências de países líderes. Em termos de resultados encontrados, verificou-se características que EUA, Alemanha, Rússia e China partiram de uma abordagem via Sistema Nacional de Inovação. A partir do apoio das contribuições da literatura especializada foi possível concluir, ademais, que o regime americano de pesquisa em nanotecnologia é um exemplo de "pesquisa de pós-acadêmica". A mudança no papel das universidades, bem como mudanças mais amplas na política de direitos de propriedade intelectual, são características que emergem nesse novo caminho traçado pela nanotecnologia, fazendo insurgir, ademais, uma nova onda/concepção de Sistema Nacional de Inovação. Foi possível depreender-se das experiências internacionais que todos os países estudados possuem iniciativas nacionais já consolidadas, com mais de 10 anos de experiências, e se caracterizam: a) pelo estímulo de atividades de inovação com interação entre Universidades e Empresas; b) pela realização de investimentos públicos em projetos para desenvolvimento da nanotecnologia em empresas; c) pelo destaque mundial na produção científica e depósitos de patentes; e d) pela criação de marcos regulatórios e definições conceitos e limites de aplicações em nanopartículas na indústria.

INTRODUÇÃO

A percepção de que a nanotecnologia representa um novo nível de conhecimento, com impactos científicos e econômicos imensos, tem levado diversos países líderes, como EUA, Alemanha, Rússia e China, a elaborar iniciativas nacionais, buscando novos níveis de competitividade das suas empresas (MIYAZAKI, ISLAM, 2007). Em uma visão global, investimentos mundiais estão em crescimento em progressão geométrica, com estimativa para 2015, ultrapassando a casa de 3 trilhões de dólares e 12 trilhões para 2020.

Dentro deste contexto, este trabalho tem o escopo precípua de apresentar as principais diretrizes das políticas desenhadas em países líderes, em termos de produção científica, depósitos de patentes e investimentos em Iniciativas Nacionais focada em nanotecnologia. Essas políticas serão analisadas à luz da abordagem de Sistemas Nacionais de Inovação, na medida em que o foco se concentra na abordagem sob o vies teórico de promoção de um conjunto de elementos e interações capazes de gerar inovações, propiciando um ambiente de estímulo às inovações nas empresas; construção analítica, oriunda de uma visão holística que concebe a inovação como processo social, econômico, político interativo e sistêmico e que concebe a Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) como elementos-chave para o crescimento, para a competitividade e para o desenvolvimento de empresas, de indústrias, de regiões e de países. Trata-se, pois, de uma visão de um complexo arranjo institucional que impulsionando o progresso tecnológico determina a riqueza das nações.

A seleção dos países estudados se deu por tratar-se de países que lideram o ranking em investimentos, depósitos de patentes e produção científica (EUA, China e Alemanha) e Rússia por se tratar de uma país do BRICS cuja perspectiva para os próximos anos é de grande ascensão.

No que diz respeito ao método de pesquisa, ressalta-se o caráter exploratório e descritivo do estudo, envolvendo levantamento bibliográfico e análise documental e de dados secundários para fins de contextualização das experiências de países líderes na Pesquisa e Desenvolvimento da nanotecnologia referente ao período de 2000 a 2013.

1 A TRAJETÓRIA AMERICANA E ALEMÃ EM NANOTECNOLOGIA: “MOLDANDO O MUNDO ÁTOMO A ÁTOMO”?

Se comparado com outros países líderes, EUA e Alemanha começaram a avaliar a situação e as tendências futuras na área da nanotecnologia muito antes dos demais países desenvolvidos, possuindo classificação elevada no que diz respeito aos indicadores de entrada e de saída em termos de PD&I, tais como publicações e depósitos de patentes. Mais de quinze anos se passaram desde que o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia dos Estados Unidos publicou a sua primeira visão para pesquisa e desenvolvimento de nanotecnologia e que a Alemanha estabeleceu o seu programa de financiamento público.

Emergindo uma característica em comum, verifica-se que ambos os países partiram de uma abordagem via Sistema Nacional de Inovação, com o objetivo de entender o que a nanotecnologia é e como ela é regida, focalizando os processos de governança associados ao seu desenvolvimento e, em seguida, reconhecendo que o surgimento da nanotecnologia não é apenas oriunda de manipulações em laboratórios, mas também em processos como previsão tecnológica, avaliação de tecnologias e futuro participativo, envolvendo cientistas, indústria, políticos, mídia e outros participantes públicos (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446), especialmente em razão da sua característica multidisciplinar.

Em termos de marco histórico de políticas de promoção e de incentivo à nanotecnologia, o início da história da nanotecnologia como uma tecnologia emergente é heterogênea (NORDMANN, 2008, p. 43). Na década de 1980, um primeiro programa de financiamento foi criado no Reino Unido, no entanto, desde

então, esta tem caído no esquecimento, normalmente sendo atribuído o pioneirismo à Alemanha e aos EUA.

Normalmente, duas são as visões dos EUA o vistas como o ponto de partida da nanotecnologia como uma tecnologia emergente. A visão individual precoce de Eric Drexler, que previu uma visão de futuro distante da manufatura molecular no final de 1980, foi, então, a primeira. Em seu livro “*Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*”, Drexler alertou sobre o alcance de novas ideias sobre as possibilidades e os riscos de tecnologias em nanoescala. Ele imaginou máquinas moleculares programadas por nanocomputadores integradas para executar tarefas específicas e criar máquinas moleculares capazes de manipular átomos individualmente e construir artefatos, utilizando-se, precisamente, da ferramenta de engenharia *bottom-up*. Drexler tornou-se uma figura-chave para esta nova visão tecnológica e suas ideias tornaram-se um ponto de referência disputada no debate em torno da nanotecnologia entre os anos de 1980 e 1990. Seu trabalho foi muito influente no início da história da nanotecnologia em que fotografa uma nova revolução industrial através da nanotecnologia (DREXLER, 1992, p. 24).

A segunda visão foi apresentada ao grande público, em 2000, pela Iniciativa Nacional de Nanotecnologia dos Estados Unidos, iniciativa esta denominada de “*Nanotecnologia - Moldando o mundo átomo por átomo*” (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446).

No final da década de 1990, a comunidade política científica dos Estados Unidos estabeleceu uma estrutura organizacional em torno das nanotecnologias e desenvolveu uma visão de P&D específica. Isso começou em 1998, quando o Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC) - o principal órgão executivo responsável pela coordenação política, científica e tecnológica, foi formalmente criado com um grupo de trabalho específico, denominado de Grupo Interinstitucional de Trabalho sobre Nanociência, Engenharia e Tecnologia (IWGN), incluindo membros de diferentes departamentos governamentais e agências¹.

O programa reuniu dez departamentos e agências independentes: departamentos de Defesa; de Energia; de Justiça; de Transportes; de Agricultura; a Agência de Proteção Ambiental; a NASA; o Instituto Nacional de Saúde; o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia e a Fundação de Ciências Naturais (VON DE KOKEN, 2006). Com a sua criação, diversas pesquisas na área de nanotecnologia foram desenvolvidas em centros interdisciplinares (PEIXOTO, 2010, p. 115).

Conforme Schaper-Rinkel (2013, p. 450):

In 1999, the NSTC conducted a series of studies and published reports on the status of and trends in nanotechnologies. The studies brought together science and technology assessment of different fields of what would then be called “nanoscale science and technology”. Visits to leading research laboratories in Japan and Europe and workshops held in the United States, Europe, and Russia were used to gather additional information for worldwide studies in the field of nanostructure science and technologies. The resulting report most explicitly related to future orientation was the IWGN workshop report on nanotechnology research directions, which included a “Vision for Nanotechnology Research and Development in the

¹ Participating agencies included the Department of Commerce (DOC), Department of Defense (DOD), Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA), Department of Energy (DOE), Department of Transportation (DOT), National Aeronautics and Space Administration (NASA), National Institutes of Health (NIH), and the National Science Foundation (NSF) (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446).

Next Decade”. Vision building at this stage was accompanied by early cooperation and coordination between and among agencies and departments of the federal government. In their work within the IWGN, the participating agencies and departments stated their major interests in nanotechnology, proposed themes for R&D support and stated their planned contributions of their programs to the nanotechnology initiative. Over 150 participants and contributors from government, science, and industry were involved in developing the vision. Nearly all of the experts from academia came from the natural sciences and engineering. Only one expert was from toxicology, and no experts represented the social sciences, humanities, innovation studies, environmental studies or science and technology studies. At this stage, the FTA activities did not involve a broad range of stakeholders. Rather, it was a process driven by technology experts.

O relatório oriundo do workshop IWGN em epígrafe trouxe contribuições a respeito do "impacto social da nanotecnologia", contendo uma "visão do futuro" e direcionando dois fatores que "iriam determinar a competitividade dos indivíduos, organizações e nações". Estes fatores são: “a) how fast people adapt and how smart they become about the application of nanotechnology solutions e b) those societies that support nanotechnology education, research, and development the fastest will thrive in the new millennium” (NSTC, 1999).

Assim, o relatório desenvolvido concluía que as sociedades que apoiassem a educação e a pesquisa e o desenvolvimento da nanotecnologia iriam prosperar mais rápido no novo milênio, demonstrando que o relatório representou uma relação orientada para o futuro da tecnologia, especialmente em termos de formulações de política de incentivo e de promoção à nanotecnologia, caracterizado como um modelo de inovação linear e orientado para a ciência (NSTC, 1999). Neste modelo, a tecnologia resulta de pesquisa, considerando que a sociedade tem de se adaptar a tecnologia para fazer suas aplicações de sucesso. Por sua vez, o papel do governo é melhorar e acelerar a absorção de tecnologia por meio de financiamento, educação e sensibilização, criando um ambiente de estímulo e de promoção. Assim, como considerada pelo Governo Americano, “*that nanotechnology will lead to the next industrial revolution*” (NSTC, 1999). Os EUA, em 1999, duplicou a verba pública direcionada à Engenharia, Pesquisa e Desenvolvimento e Nanociência, ultrapassando, já naquela época, a casa de 255 milhões de dólares (SCHAPER-RINKE, 2013, p. 451).

Nos anos seguintes à implementação da NNI, a NSTC (*National Science and Technology Council*) sucedeu ao IWGN, iniciando trabalhos com vistas às questões sociais e regulatórias. Desde 2004, o risco tornou-se o assunto de preocupação política, bem como objeto de análise. Conforme tabela de estudo realizado por Justo-Hanini e Dayan (2013, p.2875), verifica-se temporalmente a criação de normas de regulamentação da nanotecnologias nos EUA, evidenciando a referida preocupação.

TABELA 1 - Criação de Marcos Regulatórios em Nanotecnologias nos EUA²

Área de regulação	Ano	Instrumento regulatório	Política adotada
-------------------	-----	-------------------------	------------------

² Deve-se ressaltar a diferença do sistema jurídico americano, ancorado em um modelo common law de softlaw, focalizando grande poder administrativo às suas agências reguladoras.

pré-fabricação	200	regulação	regulação dos nanotubos de carbono como um instrumento químico
pré-fabricação	8	administrativa	
pré-fabricação	201	regulação	inserção de novos elementos químicos com uso de nanotecnologia
pré-fabricação	0	administrativa	
pré-fabricação	201	regulação	requisitos de informação mais rigorosos na manipulação de nanotubos de carbono
pré-fabricação	2	administrativa	
pós-fabricação	201		expansão de requisitos e aumento da frequência de informação referente a nanotecnologia à indústria
pós-fabricação	1	lei	
pós-fabricação	201		restrição/diminuição do poder de barganha do setor privado
pós-fabricação	1	regulação	

Fonte: Adaptado de JUSTO-HANINI; DAYAN, 2013, p. 2875.

A Tabela acima apresenta algumas tendências em termos regulatórios nos EUA. Pelo menos quatro processos regulatórios foram emitidos desde 2008. Conforme Justo-Hanini e Dayan (2013, p. 2875):

Isto é particularmente importante à luz de uma tendência geral para melhorar a regulamentação ambiental e de segurança do governo dos Estados Unidos como uma chave para a continuação da liderança global, de acordo com a agenda regulatória do presidente Barack Obama. Apesar (ou por causa) de uma verdadeira incerteza científica, a adoção de regras e princípios que afetam as tecnologias emergentes globais tornou-se, inevitavelmente, uma rotina na política dos EUA.

Em suma, a influência dos Estados Unidos sobre as regras do mercado global em nanotecnologia tem crescido acentuadamente. A quantidade, a abrangência e a variedade de dados que relatam a regulação têm aumentado avultadamente em países desenvolvidos. O modelo regulatório criado pelos EUA tenta, sistematicamente, limitar o poder discricionário da indústria e procura aumentar a autonomia política estatal, influenciando um movimento global em direção a regulação centrada em um sistema coercitivo estatal de estipulação de normas e de regras para a manipulação de átomos e de moléculas em escala nanométrica³, com forte atuação de suas agências reguladoras.

No que concerne às estratégias americanas em nanotecnologia, em 2010, um relatório de acompanhamento de visão de 1999, intitulado “*Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*”, combinando uma análise de documentação retrospectiva e prospectivas, orientada para o futuro da nanotecnologia 2000-2010, foi desenvolvido; apresentando-se uma visão para progressos em nanotecnologias para tal período.

As metas definidas no último plano estratégico do NNI estão enraizadas na ideia de “‘*user-centric ecosystem*’ by covering the whole ‘*ecosystem of innovation*’”. O Programa inclui investimentos ainda mais expressivos em P&D, com vistas ao avanço da nanotecnologia, criando, para tanto: a) um programa de desenvolvimento; b) promoção de transferência de novas tecnologias em produtos para o benefício comercial e público; c) investimentos em infraestrutura, incluindo a educação (desenvolver e sustentar recursos educativos, criando-se uma força de trabalho

³ Verifica-se, desse modo, uma inflexão na trajetória regulamentadora americana, na medida em que o Sistema, com o passar dos anos, vem aumentando a coercitividade estatal, deixando-se de lado o modelo de autodeclaração das empresas.

qualificada e infraestrutura de apoio com ferramentas para o avanço da nanotecnologia); d) suporte de desenvolvimento responsável das nanotecnologias com avanço na análise dos riscos e e) ações de coordenação entre as agências e maior engajamento das partes interessadas.

Assim, altera-se, com o decorrer do tempo, também, o modelo inicial de indução da nanotecnologia, fundamentalmente, ancorado em *technology-push*, passando-se, portanto, a uma abertura mais interativa com outros setores, agentes e áreas do conhecimento.

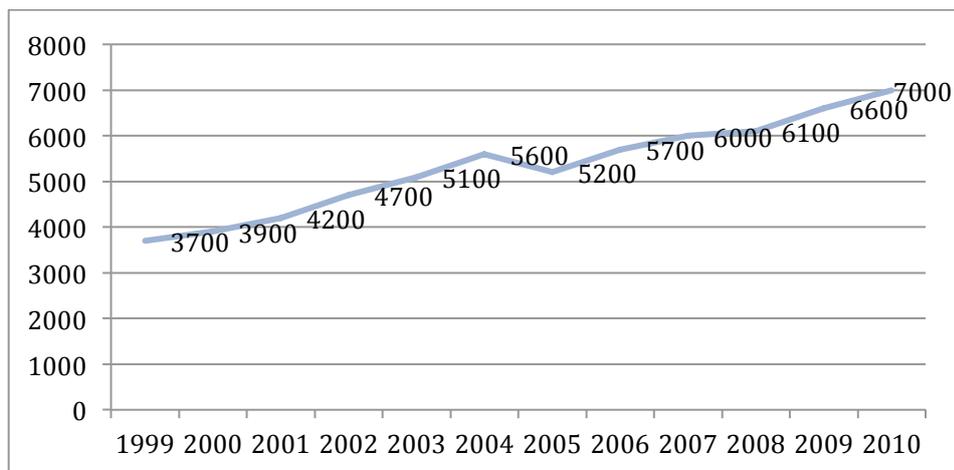
Verifica-se, pois, uma análise mais sistêmica da nanotecnologia, na medida em que o NNI propõe o conceito central para o desenvolvimento futuro ancorado em uma “governança responsável da nanotecnologia”, tratando-se de um conceito enraizado em abordagens para dialogar o meio ambiente, a saúde, a segurança e os impactos sociais da nanotecnologia, com vistas ao desenvolvimento ambientalmente responsável com o uso da gestão de riscos para com as nanotecnologias.

Em termos financeiros, desde a sua criação, o NNI coordenou o desembolso de mais de 14 (quatorze) bilhões de dólares até o final de 2011. Ao canalizar o orçamento em Pesquisa e Desenvolvimento em nanotecnologia, o NNI orienta a direção da pesquisa universitária para a agenda de pesquisa que criou (MOWERY, 2009).

Em 03 de dezembro de 2003, seguindo-se por iniciativa da Administração Clinton, o presidente Bush assinou o "*Century Nanotechnology Research and Development Act 21*", o que garantiu um financiamento de vários anos em pesquisa em nanotecnologia (LANE *et al*, 2009). O orçamento de 2010 promoveu 1,9 bilhões de dólares americanos para a NNI, refletindo um crescimento constante no investimento; no tocante aos investimentos acumulado até o ano de 2011, os valores ultrapassam os 14 (quatorze) bilhões de dólares. Esta magnitude do orçamento faz com que o NNI, destarte, seja o maior programa do governo dos EUA em Pesquisa e Desenvolvimento desde o programa *Apollo*.

O gráfico abaixo demonstra a evolução de investimentos públicos americanos em nanotecnologia:

GRÁFICO 1 - Investimentos Públicos em Nanotecnologias nos Estados Unidos (milhões de dólares)



Fonte: ABDI, 2010.

À vista disso, é possível afirmar que o NNI é claramente uma iniciativa direcionada do governo no sentido de que não só serve missões gerais do governo na defesa nacional, agricultura, saúde e educação, mas também persegue sua própria missão de garantir a liderança econômica dos EUA via nanotecnologia (JU-JUNG; LEE, 2013, p.18). Em particular, o NNI destina-se a "avançar a produtividade e a competitividade industrial através de investimentos coordenados em nanotecnologia", caracterizando a estratégia como o início de uma intervenção política que enfatiza a comercialização de nanotecnologia e uma direção de pesquisa focada para atingir o crescimento econômico nacional americano. O programa, ademais, define a universidade para além de sua característica fundamental de formação em educação (JU-JUNG; LEE, 2013, p. 21).

De uma perspectiva teórica, a literatura sobre inovação e desenvolvimento comercial em nanotecnologia tem afirmado que esta representa uma "New Wave" de políticas públicas e de relações interinstitucionais no sistema nacional de inovação dos Estados Unidos (MOWERY, 2011, p.697). Nesse contexto, destacam-se dois elementos constituídos nesse Sistema Nacional de Inovação⁴: 1) "*Federal R&D funds are focused on economic objectives*" e 2) "*the policies adopted by US universities in nanotechnology research represent a new form of 'post-academic research', emphasizing the commercialization of discoveries through licensing of academic patents*" (MOWERY, 2011, p. 699).

Johnson (2004) e McCray (2005) argumentam que o apoio da NNI a pesquisa em universidades é um exemplo de "pesquisa pós-acadêmica". Este regime é caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para toda a economia".

O financiamento público de P&D em nanotecnologia, dentro da nova estrutura criada pelo NNI, agora, é motivado por um interesse em resultados econômicos, em vez de um compromisso com o avanço do conhecimento científico-fundamental; com ênfase, portanto, nos resultados relacionados com a inovação, como o foco na colaboração universidade-indústria e na transferência de tecnologia.

Sendo assim, conforme Mowery (2011, p.701):

Although some of the claims for novelty in US nanotechnology R&D and policy may be overstated, nanotechnology R&D programs and policies do include new features that pose challenges for the future performance of the US innovation system. These novel features include (1) the intensive patenting of nanotechnology discoveries, including many that are well "upstream" from commercial application; (2) the intensive patenting of

⁴ Entendido o Sistema Nacional de Inovação da seguinte forma: "The 'national innovation system' framework for analyzing innovative performance and policy has been an influential area of scholarship for more than 20 years, since the first articulation of the concept in Freeman (1987; see also Lundvall 1992 and Nelson 1993). 'National' innovation systems typically include the institutions, policies, actors, and processes that affect the creation of knowledge, the innovation processes that translate research into applications (either for commercial sale or deployment in such 'nonmarket' contexts as national defense), and processes and institutions that influence the adoption of innovations. As such, the US national innovation system includes not just the institutions performing R&D and the level and sources of funding for such R&D, but policies—such as antitrust policy, intellectual property rights, and regulatory policy—that affect technology development, the training of scientists and engineers, and technology adoption. Institutions and policies ranging from national systems of higher education to corporate finance and governance also are important components of national innovation systems" (MOWERY, 2011).

nanotechnology discoveries by US research universities that seek to “transfer” these research advances to commercial application through licensing; and (3) the emergence of a vertically specialized structure for innovation in nanotechnology at an early stage of the technology’s development.

Isso posto, verificam-se mudanças nas características do Sistema Nacional de Inovação com o desenvolvimento da NNI, nos EUA, especialmente no que diz respeito à promoção da interação universidade-empresa e da política de propriedade intelectual, pró-patentes, os quais se combinaram, estrategicamente, com vistas a produzir uma estrutura para a inovação industrial em nanotecnologia.

Diante do exposto, evidencia-se que os programas governamentais de C&T e P&D desenvolvidos pelo Governo Americano, procuram, claramente, facilitar a transferência de tecnologia da universidade para a indústria, objetivando o fortalecimento de seu Sistema Nacional de Inovação, definindo, através da NNI, as orientações para a pesquisa focada de nanotecnologia (JU-JUNG; LEE, 2013), oportunizando um ambiente diferenciado à pesquisa, ao desenvolvimento e à criação de novos produtos e processos em nanotecnologia.

Na Alemanha, a nanotecnologia tem estado na agenda política do Ministério Federal Alemão de Educação e Pesquisa (BMBF) desde o final da década de 1990. Assim sendo, o país foi um dos primeiros - em nível de UE e, também, mundial, a atentar precocemente à nanotecnologia.

As atividades relacionadas à nanotecnologia foram propostas pela BMBF, o principal órgão público na Alemanha, encarregado de promover as investigações pré-comerciais e de desenvolvimento, iniciado no final de 1980, cuja atuação centra-se nos estágios iniciais de análise de tecnologia, análises de mercado e atividades de avaliação da tecnologia (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.449). O BMBF encomendou vários estudos em campos relacionados com a nanotecnologia a partir do início de 1990. Os resultados dos exercícios de previsão foram publicados no documento “*Technology Analyses*”. Estes relatórios forneceram informações sobre a área de tecnologia, descrevendo aplicações futuras, analisando déficits de pesquisa, e sugerindo recomendações de política.

De 1988 a 1998, a área de nanotecnologia foi monitorada através da análise da literatura, da organização de painéis de especialistas sobre diferentes aspectos da nanotecnologia e com a realização de estudos sobre nano-subcampos específicos, trazendo atores relevantes da ciência e da indústria através de oficinas de discussões. Com o diálogo entre diversos atores, foram identificadas as áreas promissoras do campo para fins de análise de futuras aplicações “nano” no mercado.

Em 1998, essas atividades de monitoramento e previsão foram seguidas por uma iniciativa do BMBF para estabelecer os primeiros seis centros de competência nacional de nanotecnologia nacional, com financiamento anual direcionado à área, visando o preenchimento da lacuna entre a ciência e a indústria, desde o início das atividades de PD&I, definindo-se as necessidades e os interesses da indústria, especialmente no que tange à transferência de conhecimento entre a indústria e as ciências naturais (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.449).

Em 2003, o BMBF desenvolveu uma estratégia nacional para financiamento e apoio da nanotecnologia. A estratégia foi denominada de “*Lead Innovations*” com concentração nos seguintes projetos (BLIND; GAUCH, 2009, p.322): *Nanofab* (eletrônica, nanotecnologia para componentes de TIC de alta performance);

Nanoforlife (nanotecnologia para produtos farmacêuticos, tecnologia médica para novas terapias e diagnósticos); *Nanomobil* (nanotecnologia para a economia do setor de automóveis); *NanoLux* (nanotecnologia para iluminação eficiente da energia); *NanoChem* (produção e avaliação da segurança dos nanomateriais para aplicações industriais).

Em 2006, o Ministério Federal do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) estabeleceu o "*NanoKommission*" - uma comissão das partes interessadas sobre as nanotecnologias - como parte da estratégia de alta tecnologia do governo federal. Em 2007, foi criada a "*Nano-Initiative — Action Plan 2010*", surgido como uma parte importante da estratégia de alta tecnologia do governo alemão; tal estratégia foi ampliada, posteriormente, para análise de 2015. Como resultados da *NanoKommission*, fora publicado em 2011, um relatório sugerindo que o governo federal alemão estabelecesse uma plataforma interdepartamental para fornecimento de informações nacionais sobre a evolução das atividades em nanotecnologia (ZWECK et al., 2008, p. 777).

Em resumo, as atividades em nanotecnologia por mais de dez anos foram governadas principalmente por um ministério (BMBF), e focadas, em grande parte, sobre as relações ciência-indústria. As atividades foram estrategicamente direcionadas para a construção em áreas já existentes de força, como na indústria automotiva e na micro-eletrônica. Ao contrário dos EUA, não havia nenhuma iniciativa em reunir outros atores, agências e ministérios; diálogo este que começou a ser costurado somente em 2006, após o direcionamento dos financiamentos. Em contraste com os EUA, a Alemanha carece de uma estrutura organizacional que reúna a experiência da ampla variedade de ministérios e de agências às partes interessadas, bem como de pesquisa para reunir o "conhecimento estratégico" (SCHAPER-RINKEL, 2013, p.449). O sistema de pesquisa alemão é caracterizado por seu alto nível de fragmentação institucional, e esta fragmentação institucional também pode ser observada no que respeita à governança da ciência, da tecnologia e da inovação no campo da nanotecnologia.

2 UNIÃO EUROPÉIA (UE): UM MODELO DE SISTEMA TECNOLÓGICO DE INOVAÇÃO EM NANOTECNOLOGIAS?

Através do conhecimento de que a nanotecnologia tratava-se de uma "tecnologia de propósito geral", e ciente da exigência, pois, de esforços de investigação, de colaboração e de criação de redes de inovação, em razão do conhecimento multidisciplinar da nanotecnologia, a União Europeia estabeleceu diversos arranjos institucionais, com a criação de políticas de incentivo e de promoção à nanotecnologia, visando a criação e a valorização de redes de pesquisa em nanotecnologia.

É possível depreender-se das ações realizadas pela UE, que, desde a concepção da estratégia em nanotecnologia, os atores envolvidos dispunham da consciência geral de que os processos, as propriedades dos materiais, os sistemas e os dispositivos em nanotecnologia diferiam significativamente daqueles em maior escala (KOSTOFF et al., 2007), com ciência de que se estava traçando uma estratégia de uma tecnologia de plataforma com um potencial de transformar muitos setores industriais, em especial, promovendo a convergência entre as indústrias orientadas para as tecnologias anteriormente separadas (ALENCAR et al., 2007; BOZEMAN et al., 2007). A natureza interdisciplinar da nanotecnologia, que se estende por

desenvolvimentos científicos em todas as disciplinas, também, é constantemente realçada (SALERNO et al., 2008) na estratégia e nas ações desempenhadas, com ênfase na comunicação, conforme Romig et al. (2007, p. 22), “de que a nanotecnologia pode ter diferentes impactos em diferentes setores industriais e membros das cadeias de valor”.

O conhecimento prévio de que a combinação de novidade e de dispersão, muitas vezes assimétrica de conhecimento sobre nanotecnologia (PANDZA; HOLT, 2007), sugeriu ações relevantes em trajetórias de construção de redes de organizações, incluindo indivíduos, empresas, universidades, institutos de pesquisa, e agências de políticas públicas (ou partes ou grupos de cada um) em um contexto de Sistema de Inovação Tecnológica. Cientes de que um sistema de inovação tecnológica é suscetível de prolongar para além de um determinado sistema nacional de inovação e de um certo ambiente institucional, a diversidade internacional e institucional tornou-se o foco com suas propriedades intrínsecas, passando a integrar o conhecimento através de políticas que estimulassem a transcendência de fronteiras nacionais e institucionais, criando diversas redes de pesquisa na União Europeia (PANDZA et al., 2011, p. 477), aproveitando-se de sua natureza de bloco econômico.

A história de políticas criadas pela UE com foco na nanotecnologia é caracterizada por uma série de mudanças institucionais (HARGRAVE; VAN DE VEN, 2006), na qual a Comissão Europeia (CE) cria arranjos institucionais que determinam a natureza e a estrutura das redes de colaboração de pesquisa financiada a partir de recursos da UE. Assim, a diversidade institucional em pesquisa colaborativa da UE é influenciada por vários objetivos políticos, que incluem o aumento da competitividade industrial, promover a inovação para atingir o crescimento econômico e enfrentar os desafios sociais em grande escala através da organização de pesquisa sobre prioridades temáticas estratégicas. A criação da nanotecnologia como uma prioridade de investigação reflete o espírito da época, no início do Século XXI. A ambiciosa iniciativa, coordenada e centralizada pela NNI, nos EUA, em 2001, claramente expôs a fragmentação da pesquisa em nanotecnologia na União Europeia, e reforçou o reconhecimento de que a UE não poderia continuar a ser competitiva a nível mundial sem uma melhor orientação e coordenação na investigação da nanotecnologia.

As instituições do “*Framework Program n° 6*”, proporcionou um ambiente institucional fértil para a criação de um programa de pesquisa separada e dedicada à nanotecnologia, sendo introduzida com o objetivo de uma política ambiciosa para melhorar significativamente a inovação industrial, através da introdução da *Integrated European Research Area* (IERA). Essa confluência única do surgimento de um grande paradigma tecnológico novo, as pressões competitivas e um novo contexto institucional, explica a criação de uma política centrada e integrada de investigação da UE dedicada à nanotecnologia. A Tabela abaixo, desenvolvida nos estudos de Pandza et al. (2011, p. 482), apresenta uma cronologia detalhada das políticas de promoção e de incentivo à nanotecnologia da UE, destacando-se os instrumentos de política com maior impacto sobre a diversidade e as configurações de redes de pesquisa em nanotecnologia.

TABELA 2 - Cronologia de Ações da UE em Nanotecnologia

Política	Período	Ação
----------	---------	------

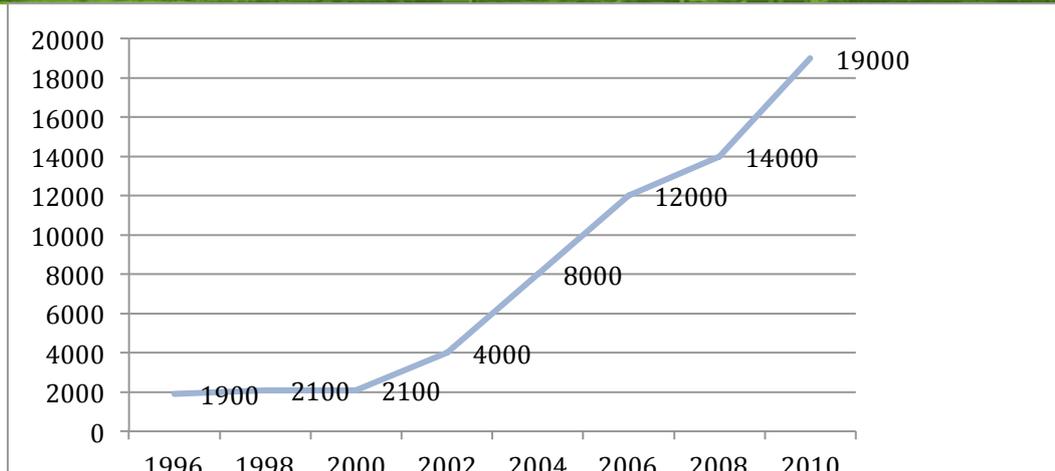
Framework Programme 4	1994-1997	O Programa não se dedicava à nanotecnologia
Framework Programme 5	1998-2002	Nanotecnologia incluída na pauta de tecnologia revolucionária
Framework Programme 6	2002-2007	Nanotecnologia obteve uma pauta específica nas discussões com total de gastos em 1,4 bilhões de euros
Fórum Europeu de Nanotecnologia	2003	Iniciativas de debates para discutir futuras políticas de desenvolvimento para a nanotecnologia
Plano Estratégico	2004	Criação de documento com objetivos para desenvolvimento da nanotecnologia na UE
Consulta Aberta	2004	Reunião de 700 especialistas para confecção do plano estratégico
Report Action Plan	2005-2007	Início das atividades focalizadas no plano estratégico com destaque a transferência de tecnologia

Fonte: Adaptado de PANDZA et al., 2011, p. 482.

Em 2005, criando o Plano de Ação 2005-2009 – *EU Policy for Nanosciences and Nanotechnologies: Action Plan for Europe 2005-2009 – FP7*, a UE, com o objetivo de fazer parte de uma ação integrada para “manter e fortalecer a P&D europeia em nanociências e nanotecnologias” determinou os seguintes escopos do projeto (PEIXOTO, 2013, p.109; ROCO, 2011, p. 21): Aumentar o investimento e a coordenação de P&D para reforçar a exploração industrial das nanotecnologias, ao mesmo tempo em que mantém a excelência científica e a competição; desenvolver uma infraestrutura de P&D mundialmente competitiva (“polos de excelência”) que leve em consideração as necessidades tanto da indústria quanto das organizações de pesquisa; promover a educação interdisciplinar e o treinamento de pessoal de pesquisa, criando uma mentalidade empreendedora mais forte; garantir condições favoráveis para a transferência de tecnologia e a inovação para assegurar que a excelência europeia em P&D seja traduzida em produtos e em processos geradores de riqueza; integrar as condições sociais aos processos de P&D em seus estágios iniciais; trazer para discussão os potenciais riscos de saúde pública, de segurança e de meio-ambiente e os riscos ao consumidor, gerando dados para avaliação de riscos; integrando tais avaliações em todas as etapas do ciclo de vida de produtos baseados em nanotecnologia; adaptando as metodologias existentes e, quando necessário, desenvolver novas; complementar as ações descritas acima com apropriada cooperação de nível internacional.

Em uma perspectiva de investimentos públicos, a União Europeia investiu desde 1997, mais de 10 (dez) bilhões de dólares, conforme estudos da *National Science Foundation* (National Science Foundation, 2012, p. 37.).

GRÁFICO 2 - Investimentos Públicos da UE em Nanotecnologia (milhões de dólares)



Fonte: National Science Foundation, 2012, p. 37.

No que diz respeito à criação de Marcos Regulatórios, a União Europeia possui uma base legislativa em nanotecnologia das mais protetivas desenvolvidas no mundo. A Tabela abaixo, oriunda dos estudos legais de Justo-Hanini e Dayan (2013, p.2874), apresenta uma visão geral das principais iniciativas regulatórias em nanomateriais no âmbito do REACH⁵, desde 2008. Embora cada definição possua jurisdição ao mercado europeu, a política regulatória resultante é de "efeito macro-influência" (BACH; NEWMAN, 2007), estabelecendo a UE padrões de entrada no mercado e, também, para o mercado global como um todo, em razão da densidade regulatória desenvolvida⁶ (SELIN; VANDEVEER, 2006; HEYVAERT, 2010).

TABELA 3 - Principais Marcos Regulatórios da UE

Área de regulação	Ano	Instrumento regulatório	Política adotada
Identificação de substância	2011	Recomendação	Definição supracional do conceito de nanotecnologia
Identificação de substância	2010	Recomendação	Utilização do conceito ISOTC 229 como definição da nanotecnologia
Registro	2012	Lei (Comissão Europeia)	Definição de normas e proibição de manipulações para graphite e nanotubos de carbono
Registro	2011	Resolução (Parlamento Europeu)	Definição de normas e proibição de manipulações para graphite e nanotubos de carbono
Registro	2011	Resolução (Parlamento Europeu)	Criação de critérios para registro da nanotecnologia e criação de padrões técnicos de segurança

Fonte: Adaptado de JUSTO-HANINI, 2013, p. 2875.

Da tabela *retro* é possível depreender-se três tendências. Em primeiro lugar, o número absoluto de iniciativas regulatórias tem crescido, destacando-se a

⁵ REACH é Comissão de regulação da União Europeia, adotado para melhorar a proteção da saúde humana e do ambiente contra os riscos que podem ser provocados por produtos químicos da UE.

⁶ Especialmente pela definição do termo nanotecnologia, através da ISOTC 229, conceito este inclusive trazido à tona no capítulo 1 como definição de nanotecnologia.

preocupação com a conceituação de nanomateriais, processando-se pelo menos três novos obstáculos regulamentares e legais para a capacidade da indústria em entrar no mercado, instado pelo Parlamento (JUSTO-HANINI; DAYAN, 2013, p. 2875).

Em segundo, há uma tendência leve para a revogação da delegação de regulamentação de agentes privados na definição e na aplicação de critérios para a entrada no mercado de nanotecnologia, elevando os critérios de densidade e os aspectos restritivos da legislação. O novo regulamento criado desviou em pontos centrais das normas internacionais existentes, reconhecendo a falha de agentes privados autorreguladores na definição de nanomaterial⁷.

Por fim, a tabela acima indica que os aspectos regulatórios que definem a entrada no mercado na UE são impulsionados por duas lógicas: (1) ações que promovem a integração do mercado e (2) o aumento da capacidade de regulação administrativa. Em 2011, a Comissão concordou em uma única definição para assegurar a conformidade em todas as áreas e setores legislativos e fez um primeiro passo legal para harmonizar o comércio de nanomateriais nos mercados da UE, dando um passo importante em termos de generalização de normas definidoras do comportamento da nanotecnologia. Tais ações estão inseridas no contexto de políticas de incentivo e de promoção ao desenvolvimento da nanotecnologia – Programa FP7 do Plano de Ação 2005-2009 descrito anteriormente.

Em termos comparativos, portanto, o estudo dos Marcos Regulatórios dos EUA e da UE revela que a UE e os EUA optaram por diferentes vias regulatórias para atender os desafios da nanotecnologia. O estudo de Justo-Hanini e Dayan (2013) destaca que a regulamentação dos EUA parece estar sendo conduzida em nível de agências reguladoras, ao invés de nível de Governo Federal. Assim, enquanto os EUA possuem um marco regulatório mais aberto, com forte intervenção industrial, a regulamentação europeia, por sua vez, é mais densa e restritiva. Esta última tornou-se o padrão internacional de fato para a regulamentação global.

Diante do exposto, através dos documentos oficiais da UE explorados e da literatura específica sobre a temática utilizada, verifica-se que as políticas e as ações desenvolvidas pela UE em relação à nanotecnologia estão inseridas em um contexto de Sistema Tecnológico de Inovação (PANDZA et al., 2013), cuja preocupação não está focada em um único Estado-Nação, mas centrado em um escopo precípua transnacional de promoção e de incentivo da nanotecnologia para todo o bloco, ultrapassando limites geográficos e nacionais, buscando a exploração e a integração de redes de PD&I e a cooperação internacional entre os países, com vistas a superar os desafios multidisciplinares da nanotecnologia⁸.

⁷ Leia-se BSI, ASTM, IEC, conforme se depreende do texto de Justo-Hanini e Dayan (2013) *verbis*: “Second, there is a mild trend toward revoking delegation of rulemaking from private actors in defining and enforcing criteria for market entry. Business rulemaking has played virtually the most important role in defining the European and the global markets semantics (EC, 2010; D’SILVA, 2011). Almost all standardized vocabulary and core terms emanated from private international standards organizations with ISO at the forefront (including BSI, ASTM, IEC). Delegated rulemaking power to ISO on nano-related standards is provided by CEN (CEN/TC 352), which empowered CEN to propose the ISO documents for adoption as CEN documents using the Vienna Agreement process (EC, 2010)”.

⁸ Tal característica da UE evidencia ações diferenciadas em comparação aos EUA, que tem adotado um modelo claramente de Sistema Nacional de Inovação.

3 EXPERIÊNCIAS DE RÚSSIA E CHINA NO FOMENTO DA NANOTECNOLOGIA

Na Rússia, a Estratégia de Desenvolvimento de Nanotecnologia foi adotada em 2007. Seu objetivo inicial era direcionar recursos financeiros e organizacionais na pesquisa interdisciplinar em áreas relacionadas com a nanotecnologia, com vistas a criar um mercado doméstico competitivo de produtos habilitados com uso da tecnologia nano (GOKHBERG et al., 2012, p.161).

Um ano antes, em 2006, a nanotecnologia foi incluída na lista nacional de prioridades de C&T. Conforme se depreende do estudo de Gokhberg et al. (2012, p.162):

The Program of Nanotechnology Development in the Russian Federation until 2015 (Program-2015), which started in 2008. Russia has envisaged certain policy actions aimed at promoting; allied R&D, infrastructures, manufacturing, and investment in the implementation of innovative projects. The program provides overall funding at about RUR 100 bln (nearly PPP USD 5.5 bln). Another RUR 300 bln (PPP USD 16.4 bln) have been channeled to the Russian Corporation of Nanotechnologies (RUSNANO) to foster development of nanotech products and their market penetration. These decisions have stipulated ongoing expert discussions on whether public investment in financing nanotechnology at such a scale has been rational vis-a-vis the national R&D expenditure total equal to PPP USD 26.6 bln.

Durante os dois primeiros anos de implementação do Programa - 2015, a Rede Nacional de Nanotecnologia (RUSNANONET) foi estabelecida. Ela é composta de organizações de pesquisa, universidades e empresas, bem como, de indivíduos envolvidos em nanotecnologia C&T e P&D, possuindo mais de 740 membros ao final de 2011. Seu objetivo principal é a construção de uma plataforma de comunicação de e cooperação entre profissionais.

Em termos regulatórios, outra importante ação foi realizada pelo Serviço Federal de Proteção dos Direitos dos Clientes e de Bem-estar Humano (*Rospotrebnadzor*) que aprovou as normas de saúde e de segurança para a identificação e para o controle de nanomateriais em organismos vivos, para produtos químicos, para fornecimento de água e para produtos alimentares (GOKHBERG et al., 2011, p.3).

Depois que os EUA, Europa, Japão e muitos outros governos nacionais e regionais lançaram estratégias de desenvolvimento de nanotecnologias, em finais dos anos 1990 e início dos anos 2000, os políticos chineses sentiram que o país devia pensar em estratégias para evitar deixar para trás a oportunidade de explorar esta emergente tecnologia (HUANG; WU, 2011, p.5).

O governo chinês agiu como maior fonte do país de financiamento de P&D para o desenvolvimento da nanotecnologia. O investimento público foi transformado em infraestrutura avançada, equipamentos e instrumentos com altos níveis de padrões tecnológicos, atraindo diversos cientistas e engenheiros, particularmente os jovens investigadores. Devido a esses esforços sem precedentes do governo, a China emergiu como um importante *player* global no campo da nanotecnologia.

Na década de 1990, várias conferências acadêmicas importantes realizadas na China, como a 7ª Conferência Internacional de Microscopia de Tunelamento (1993) e

a 4ª Conferência Internacional sobre Escala Nanométrica para a Ciência e Tecnologia (1996), apresentaram já a participação dos cientistas chineses no campo. De 1990 a 2002, cerca de 1.000 projetos foram financiados pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (ou o Estado de Ciência e Tecnologia da Comissão). Durante o mesmo período, a Fundação Nacional de Ciência Natural da China aprovou mais de 1.000 bolsas de pequena escala para projetos relacionados à nanotecnologia. Em suma, o início das atividades de P&D em nanotecnologia na China pode ser datado entre 1980 e 1990. Atividades de P&D intensivas, porém, não começaram antes do início dos anos 2000 (HUANG e WU, 2011, p.5).

Em novembro de 2000, o Comitê Gestor Nacional de Nanociência e Nanotecnologia foi criado para supervisionar as políticas nacionais e coordenar as ações. A comissão elaborou o primeiro documento chinês de política nacional destinada a promover o desenvolvimento da nanotecnologia, que foi anunciada como a Estratégia Nacional de Nanotecnologia de Desenvolvimento (2001 - 2010) e foi uma reminiscência de estratégias semelhantes ou iniciativas anunciadas em outros países, como a Iniciativa Nacional de Nanotecnologia nos EUA (PEIXOTO, 2013, p. 118).

A Estratégia Nacional de Nanotecnologia de Desenvolvimento (2001 - 2010) – denominada de “*the strategy*” - enfatizou a importância da ciência básica e ressaltou a necessidade de apoio financeiro fortalecido do governo. A estratégia priorizou recursos para o desenvolvimento de formação de cientistas em um clara visão de política de longo prazo.

Em 2003, foi criado o Centro Nacional para Nanociência e Nanotecnologia pela Academia Chinesa de Ciências e pelo Ministério da Educação, integrando-se a esse centro as duas principais universidades chinesas, *Perking University* e *Tsinghua University*. Os objetivos principais do Centro foram a construção de uma plataforma tecnológica e a execução de uma pesquisa básica em nanociência com equipamentos modernos, sendo aberta à comunidade científica chinesa e aos colaboradores internacionais. A pesquisa foi focada principalmente na nanofabricação, nos nanodispositivos, nos nanomateriais, nas nanoestruturas, na nanobiologia, na nanomedicina e na caracterização e nas medidas, compondo um corpo de, aproximadamente, 100 pesquisadores.

Com o desenvolvimento da orientação da estratégia e do envolvimento precoce em P&D em nanotecnologia, a ascensão global da China em nanotecnologia tem sido fenomenal. Conforme se infere dos estudos da *Lux Research* (2008):

The US and Japanese governments invested US\$1,816 million and US\$1,060 million (by purchasing power parity or PPP), respectively, on nanotechnology R&D during 2005–2007. The Chinese government invested US\$PPP893 million during the same period, which positions China in third place in the worldwide ranking (Figure 3). However, corporate funding in China amounted to only US\$PPP348 million, which was only slightly more than one-third of government funding. Ranked by corporate funding, China was ranked fifth in the world after the US (US\$PPP2,362 million), Japan (US\$PPP2,038 million), Germany, and South Korea. The European Commission (2005) estimation showed that the Chinese government invested 83 million Euros in 2004 on nanotechnology R&D, in comparison with the US government’s 1.2 billion Euros and the Japanese government’s 750 million Euros. China was thus ranked after the US, Japan, Germany, France, South Korea, and the UK in public investment in nanotechnology R&D in 2004.

Por fim, do ponto de vista regulatório, à medida que a complexidade da investigação baseada em nanociência e em nanotecnologia (pura e aplicada) aumentou, houve, proporcionalmente, o aumento dos investimentos e dos financiamentos do governo e, em razão do aumento do número de aplicações industriais para os nanomateriais, a China passou a melhor identificar a medição, a manipulação, os padrões de exposição, a toxicidade e a segurança.

Normas a respeito da nanotecnologia são revisadas pelo “*National Nanotechnology Standardization Technical Committee*”, por um comitê Nacional de Normalização Técnica criado pelo Governo Chinês (NSTC) e pelo Comitê Técnico 279 - um subcomitê específico sob a administração da “*Standardization Administration of China*” (SAC) (JARVIS; RICHMOND, 2011, p. 13). O SAC, sob a normatização técnica TC279, tem a função precípua de órgão de coordenação para a elaboração dos projetos de normas essenciais para as nanotecnologias, incluindo terminologia, metodologia e segurança nas áreas de medições em escala nanométrica, materiais e biomedicina em nanoescala. O NSTC-TC também desenvolve protocolos de testes e normas técnicas utilizadas por empresas de fabricação. A Comissão também supervisiona uma base de dados para estudos de toxicologia em nanomateriais, com o objetivo de auxiliar no estabelecimento de normas de segurança para a produção de nanomateriais, para a embalagem e para o transporte (PEIXOTO, 2013, p.112).

O NSTC-TC possui cinco grupos de trabalho de pesquisa do núcleo: 1) microfabricação, 2) nanometrologia, 3) saúde, segurança e meio ambiente, 4) testes de nanoindentação e 5) microscopia de varredura e sondagem (JARVIS; RICHMOND, 2011, p. 13). Os padrões são normalmente publicados, administrados e executados pela agência controladora da TC279, a GAQSIQ – “*General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine*”.

A tabela abaixo, criada por Jarvis e Richmond (2011, p. 13), evidencia, no tempo, a preocupação chinesa em termos de regulação em nanotecnologia:

TABELA 4 - Marcos Regulatórios em Nanotecnologia na China

Área de regulação	Ano	Instrumento regulatório	Política adotada
Identificação substância	de 2004	Lei	Definição do conceito de nanotecnologia e determinação de conceito de tamanho de partículas para fins de segurança
Identificação substância	de 2004	Lei	Criação de métodos de análise e padrões para investigação de segurança
Identificação substância	de 2004	Lei	Definições de padrões de tamanho de partículas para nanoníquel, nano-cálcio, nanotubos de carbono, nano-titânio, e terminologia para nano-materiais
Identificação substância	de 2006	Lei	Criação de regras gerais sobre metrologia e determinação da nano-escala
Identificação substância	de 2008	Lei	Definição de métodos e propriedades para identificação de nano-organismos
Identificação substância	de 2008	Lei	Definição de regras para nano-filmes, alta resolução de microscopia e dispersão de partículas

Fonte: Adaptado de Jarvis e Richmond, 2011, p. 13.

Diante do exposto, verifica-se o impacto total do esforço chinês para a liderança em nanotecnologia. Investimentos pesados e a criação de infraestrutura são características apresentadas pela “*The Strategy*” Chinesa, projetando um cenário extremamente interessante em se tratando da tecnologia nano.

4 QUADRO SISTEMÁTICO SOBRE O CENÁRIO INTERNACIONAL DA NANOTECNOLOGIA

A partir das considerações trazidas nos itens anteriores referentes às experiências de países líderes no desenvolvimento da nanotecnologia, como EUA, Alemanha, China e Rússia e de uma análise focada na União Europeia, foi possível traçar um quadro-resumo, identificando-se os pontos nodais que contribuem para a criação de um ambiente de promoção e de incentivo à nanotecnologia, assim como o posicionamento de cada país analisado em uma visão global.

Destarte, o quadro abaixo tem o escopo de apresentar os seguintes dados: a) o momento de criação da estratégia em nanotecnologia (Iniciativa Nacional); b) os investimentos públicos realizados; c) o início de ações de promoção à educação focada na multidisciplinaridade da nanotecnologia em Universidades; d) a colocação do país em termos de produção científica; e) a colocação do país em termos de depósitos de patentes; f) a existência de marco regulatório específico em nanotecnologia no país e a data de construção e g) a data de início da preocupação iminente com os riscos advindos da manipulação de átomos e de moléculas em escala nanométrica.

QUADRO – Cenário Internacional de Nanotecnologias (países selecionados)

PAÍS	MOMENTO DE CRIAÇÃO DA ESTRATÉGIA NACIONAL EM NANO		INVESTIMENTOS PÚBLICOS*	PROMOÇÃO A EDUCAÇÃO EM NANO DENTRO DO CONTEXTO DE INICIATIVA NACIONAL EM UNIVERSIDADES
EUA	1999 - NNI - "Nanotecnologia - Moldando o mundo átomo por átomo"		1999 a 2011 - 14 bilhões de dólares	Desde 1999. O NNI define a Universidade para além de sua característica fundamental de formação em educação. Pesquisa Pós-Acadêmica
UE	Início do Debate em 1997 e 2002 - Institucionalização do <i>Framework Program 6</i> - focado em processo de cooperação internacional entre países do bloco		1997 - 2010 - 10 bilhões de dólares	Desde 1997
Alemanha	Sem criação de Programa específico de estratégia, focada apenas no Ministério BMBF. Fragmentação Institucional, programa focado na nanociência - educação		6 bilhões de dólares até 2012	Desde 1990, concentrando-se seu foco até tempos atuais
Rússia	2007 - <i>Strategy for Nanotechnology Development - RUSNANO</i>		16 bilhões de dólares até 2015	Desde 2007
China	2001 - <i>The Strategy</i> - Iniciativa Estratégica que priorizou recursos para o desenvolvimento de formação de cientistas em uma clara visão de política de longo prazo		11 bilhões de dólares até 2012	Desde 2001 com intensidade
PAÍS	COLOCAÇÃO EM PRODUÇÃO CIENTÍFICA***	COLOCAÇÃO EM DEPÓSITOS DE PATENTES****	MARCO REGULATÓRIO	PREOCUPAÇÃO COM RISCOS EM TERMOS DE INICIATIVA NACIONAL
EUA	1º	1º	Marco regulatório específico que vem aumentando a coercitividade ao longo do tempo	Desde de 2004
UE	Sem dados - Bloco Econômico**	Sem dados **	Marco regulatório específico mais coercitivo do mundo, sendo usado como exemplo para outros países	Desde de 2008

Alemanha	5º	8º	Marco Regulatório da UE e químico próprio	Desde de 2011
Rússia	13º	7º	Marco regulatório específico, criação da <i>ROSPOTREBNAZDOR</i> - Serviço Federal de Proteção dos Direitos dos clientes e vigilância do bem estar humano	Desde de 2007
China	2º	2º	Marco Regulatório específico - <i>National Standardization Technical Committee</i>	Desde de 2005

* A uniformização de dados do mesmo período de tempo foi prejudicada pela falta de estudos e dados globais. Extração: statnano.com.

** Dados referentes ao bloco econômico da UE não foram compatíveis de serem analisadas, apenas de países isolados.

*** Dados referentes ao período de 2011 disponibilizados pelo INPI (dados discutidos no capítulo 5).

**** Dados extraídos da base de dados *ISI Web of Knowledge*.

FONTE: Elaborado pelo autor.

CONCLUSÃO

O presente trabalho dedicou-se a análise de experiências de EUA, Alemanha, União Européia, Rússia e China, buscando a compreensão da criação de iniciativas focadas no desenvolvimento da nanotecnologia, aspectos cronológicos de políticas de promoção e incentivo, mapeamento das principais ações e investimentos realizados e construção de marcos regulatórias a respeito do tema.

Em termos de resultados encontrados, verificou-se características que EUA, Alemanha, Rússia e China partiram de uma abordagem via Sistema Nacional de Inovação, com o objetivo de entender o que a nanotecnologia é e como ela é regida, focalizando os processos de governança associados ao seu desenvolvimento e, em seguida, reconhecendo que o surgimento da nanotecnologia não é apenas oriunda de manipulações em laboratórios, mas também em processos como previsão tecnológica, avaliação de tecnologias e futuro participativo envolvendo cientistas, indústria, políticos, mídia e outros participantes públicos (SCHAPER-RINKEL, 2013, p. 446), especialmente em razão da sua características de multidisciplinaridade. EUA e Alemanha destacam como pioneiros nesses cenários com a criação de suas Iniciativas Nacionais em Nanotecnologia já no final dos anos noventa e início dos anos dois mil.

A partir do apoio das contribuições de Johnson (2004) e McCray (2005), foi possível concluir, ademais, que o regime americano de pesquisa em nanotecnologia é um exemplo de "pesquisa de pós-acadêmica"; regime este caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para toda a economia" - motivado por interesse em resultados econômicos (ciência aplicada) como foco na colaboração universidade-empresa e na transferência de tecnologia, sendo denominado pela literatura específica como "uma nova" onda no Sistema Nacional de Inovação Americano. No mesmo sentido, foi possível identificar, em termos de avanços teóricos, uma nova onda nos Sistemas Nacionais de Inovação desenvolvida pela nanotecnologia. A literatura especializada evidenciada a criação de um novo regime caracterizado por uma ênfase sobre a utilidade da ciência e do alistamento de pesquisa acadêmica aplicada e interativa como um "motor tecnocientífico de criação de riqueza para a economia.

Estudos de Mowery (2011) apontam essas mudanças são caracterizadas especialmente pela: a) forte tendência de uma era pró-patentes com patenteamento de temas complexos e multidisciplinares que envolvem uma nova estrutura de proteção da propriedade industrial; b) tendência, cada vez maior, de patenteamentos com diversos autores, especialmente com interações entre Universidades, Centro de

Pesquisa e Empresas, afastando-se da concepção tradicional de depósitos de patentes por empresas ou pessoas físicas tão-somente; c) rápida ascensão e crescimento do patenteamento mundial em nanotecnologia, estes impulsionados, em grande parte, por universidades, com transgressão de barreiras geográficas da firma, constantes movimentos de *open innovation* e intensificação de atividades de Interação Universidade-Empresa (IUE) – caracterizando uma estrutura verticalmente especializada de inovação.

Portanto, a mudança no papel das universidades, bem como mudanças mais amplas na política de direitos de propriedade intelectual, são características que emergem nesse novo caminho traçado pela nanotecnologia, fazendo insurgir, ademais, uma nova onda/concepção de Sistema Nacional de Inovação.

No que diz respeito a análise do bloco econômico da União Européia, foram introduzidas ações e políticas relevantes em trajetórias de construção de redes de organizações, incluindo indivíduos, empresas, universidades, institutos de pesquisa, e agências de políticas públicas (ou partes ou grupos de cada um) em um contexto de Sistema de Inovação Tecnológica, suscetível de prolongar para além de um determinado sistema nacional de inovação e de um determinado ambiente institucional, consagrando a diversidade internacional e institucional, integrando o conhecimento através de políticas que estimulem a transcendência de fronteiras nacionais e institucionais, criando diversas redes de pesquisa na União Europeia. Destaca-se, assim, que preocupação não está focada em um único Estado-Nação, mas centrada, na promoção e no incentivo da nanotecnologia para todo o bloco, transcendendo limites nacionais, buscando a exploração e integração de redes de PD&I e a cooperação internacional entre os países, com vistas a superar os desafios multidisciplinares da nanotecnologia.

Diante de todo o exposto, é possível depreender-se das experiências internacionais que todos os países estudados possuem Iniciativas Nacionais já consolidadas, com mais de 10 anos de experiências, e se caracterizam: a) pelo estímulo de atividades de inovação com interação entre Universidades e Empresas; b) pela realização de investimentos públicos em projetos para desenvolvimento da nanotecnologia em empresas; c) pelo destaque mundial na produção científica e depósitos de patentes; e d) pela criação de marcos regulatórios e definições conceitos e limites de aplicações em nanopartículas na indústria.

Destarte, o presente estudo conclui que a nanotecnologia tem criado um ambiente de desafios para fins de criação de um ambiente de promoção e incentivo em países líderes, indicando a concepção de reflexão a respeito de uma “nova onda” pós-acadêmica aos Sistemas Nacionais de Inovação na era da nanotecnologia.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, M, PORTER, A, ANTUNES, A. Nanopatenting patterns in relation to product life cycle. *Technological Forecasting and Social Change* 74 (9), 1661–1680, 2007.
- BLIND, K, GAUCH, S K. Research and standardisation in nanotechnology: evidence from Germany, *J. Technol. Transf.* 3. 320–342, 20
- BOZEMAN, B, LAREDO, P, MANGEMATNIN, V. Understanding the emergence and deployment of “nano” S&T. *Research Policy* 36 (6), 807–812, 2007.
- DREXLER, E. *Engines of Creation: the coming era of nanotechnology*. EUA: Anchor Books, 1986.
- GOHBERG, L, KOUZNETSOVA, I, FURSOV, K, DAKIN, V. Statistics of nanotechnology in Russia: formation of a new field. *Voprosy Statistiki (Issues of Statistics)* 6, 3–19 (in Russian), 2011.
- HARGRAVE, T, VAN DE VEN, A. A collective action model of institutional innovation. *Academy of Management Review* 31 (4), 864–8882, 2006.

- HUANG, C. & WU, Y. *State-led technological development: A case of China's nanotechnology development*. Working Paper Series No 013. United Nations University – Maastricht Economic and social Research and training centre on Innovation and Technology (MERIT). Maastricht, 2011.
- JARVIS, S.L., RICHMOND, N. Regulation and Governance of Nanotechnology in China: Regulatory Challenges and Effectiveness' *European Journal of Law and Technology*, Vol. 2, No.3, 2011
- JOHNSON, A. Johnson. The end of pure science: Science policy from Bayh-Dole to the NNI. In D. Baird & Nordmann (Eds.), *Discovering the nanoscale*. IOS Press: Amsterdam, 2004.
- JU-JUNG, Hyun; LEE, Jay. The impacts of Science and technology policy interventions on university research: Evidence from the U.S National nanotechnology initiative. *Research Policy*, 2013.
- JUSTO-HANINI, R; DAYAN, T. The role of the state in regulatory policy for nanomaterials risk: analyzing the expansion of state-centric rulemaking in EU and US chemical policies, 2013.
- KOSTOFF, R, KYTCHEFF, R, LAU, C. Global nanotechnology research literature overview. *Technological Forecasting and Social Change* 74 (9),1733–1747, 2013.
- LANE, N, KALIL, T. The National Nanotechnology Initiative: Present at the Creation. *Issues in Science and Technology* 2005 summer, 2009.
- MIYAZAKI, K. & ISLAM, N. "Nanotechnology systems of innovation – An analysis of industry and academia research activities". *Technovation* 27, 661-675, 2007.
- MCCRAY, W. P. (2005). Will small be beautiful? Making policies for our nanotech future. *History and Technology*, 21, 177–203, 2005.
- MOWERY, D., SAMPAT, B. N. "Universities in National Innovation Systems", In: FAGERBERG, J., MOWERY, D. C. & NELSON, R. R. (Eds). *"The Oxford Handbook of Innovation"*. Oxford University Press, 2005.
- _____, What does economic theory tell us about mission-oriented R&D? In: Foray, D. (Ed.), *The New Economics of Technology Policy*. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 131–147, 2009.
- _____; ROSENBERG, Nathan. *Technology and the pursuit of economic growth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- NSTC, National Science and Technology Council, IWGN, E.a.T., The Interagency Working Group on NanoScience, Nanostructure Science and Technology, in: *A Worldwide Study*, 1999.
- NSTC, National Science and Technology Council, Nanotechnology research directions: IWGN workshop report, *Vision for Nanotechnology Research and Development in the Next Decade*, 1999.
- NORDMANN, A. No future for nanotechnology? Historical development vs. global expansion, in: F. Jotterand (Ed.), *Emerging Conceptual, Ethical and Policy Issues in Bionanotechnology*, Springer, Netherlands, 2008, pp. 43–63.
- PANDZA, K., HOLT, R. Absorptive and transformative capacities in nanotechnology innovation systems. *Journal of Engineering and Technology Management* 24 (4), 347–365, 2007.
- PANDZA, Krsto; WILKIN, Terry; ALFOLDI, Eva. Collaborative diversity in a nanotechnology innovation system: evidence from the EU framework programme. *Technovation*, 31, 476-489. 2011.
- PEIXOTO, Flávio José Marques. *Nanotecnologia e sistemas de inovação: implicações para política de inovação no Brasil*. Tese (doutorado em Economia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Economia, Programa de Pós-Graduação em Economia, 2013. Rio de Janeiro, 2013.
- ROCO, M. C. The Long View of Nanotechnology Development: The National Nanotechnology Initiative at Ten Years. *Nanotechnology Research Directions for Societal Needs in 2020*. Science Policy Reports, Vol. 1, pp. 1-28, 2011.
- SALERNO, M., LANDONI, P., VERGANTI, R.,. Designing foresight studies for nanoscience and nanotechnology (NST) future developments. *Technological Forecasting and Social Change* 75 (8), 1202–1223, 2008.
- SCHAPER-RINKE, Petra. The role of future-oriented technology analysis in the governance of emerging technologies: the example of nanotechnology. *Technological Forecasting and Social Change*, 2013, p.444-452.
- VON DE KOKEN, F. S. C. . *Nanotecnologia no Agronegócio: Um Estudo Econômico do Uso da "Língua Eletrônica" na Cafeicultura"*; orientador: Sonia Maria Dalcomuni. Vitória, ES, 2006. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia – PPGECO da Universidade Federal do Espírito Santo), 2006.
- ZWECK, A, BACHMANN, W, LUTHER, C, PLOETZ, C. Nanotechnology in Germany: from forecasting to technological assessment to sustainability studies, *J. Clean. Prod.* 16 (2008) 977–987.