



**Escola Nacional de
Administração Pública**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO DE POLÍTICAS DE
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Modalidade: *Policy Paper*

**POLÍTICAS PÚBLICAS NA ÁREA DE MATERIAIS
AVANÇADOS, PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E
TENDÊNCIAS: SUGESTÕES À POLÍTICA DE C,T&I
BRASILEIRA**

Discente: Dr. Felipe Silva Bellucci

Orientadora: Profa. Dr. Maria Carlota Souza Paula

Brasília, 2019

FELIPE SILVA BELLUCCI

POLÍTICAS PÚBLICAS NA ÁREA DE MATERIAIS
AVANÇADOS, PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E
TENDÊNCIAS: SUGESTÕES À POLÍTICA DE C,T&I
BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso do discente Felipe Silva Bellucci, orientado pela Profa. Dr. Maria Carlota Souza Paula, apresentado à Escola Nacional de Administração Pública (ENAP) como pré-requisito para a obtenção do título de especialista em gestão de políticas de ciência, tecnologia e inovação.

Brasília, 2019

BELLUCCI, F. S., **Políticas públicas na área de materiais avançados, principais características e tendências: Sugestões à política de C,T&I brasileira.** 2019. 65f. Monografia (Especialista em gestão de políticas de ciência, tecnologia e inovação), Escola Nacional de Administração Pública (ENAP), Brasília-DF, Brasil, 2019.

RESUMO

No Brasil, a promoção e o incentivo ao desenvolvimento da ciência, tecnologia e inovação são premissas constitucionais previstas no art. 218 da Constituição Federal e, neste arcabouço, a área de materiais avançados pode ser considerada como uma das principais áreas habilitadoras, com destacado potencial para inovação. O desenvolvimento dessa área se confunde historicamente com a evolução da humanidade, uma vez que deles derivam os nomes de períodos como a idade da pedra e dos metais, que garantiam vantagens, em especial na agricultura e guerra, para a população que dominasse a transformação destes materiais. Atualmente, os materiais avançados continuam despertando o interesse da academia e do setor privado, já que são considerados a base para a promoção da inovação de base tecnológica e por terem potencial de agregação de valor e diferencial competitivo. Considerando os esforços do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) para o desenvolvimento científico nacional e a vigência da Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022), que estabelece como prioritária a temática Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, que inclui materiais avançados, este trabalho apresenta uma análise das principais políticas públicas internacionais na área de materiais avançados, identificando as principais características, tendências e prioridades dessas políticas, com o objetivo de subsidiar a formulação de um Plano Nacional para Materiais Avançados. Os países/blocos selecionados para análise foram União Europeia, BRICS, Estados Unidos, Japão e Alemanha, devido à expressividade de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e a relevância da área de Materiais Avançados como tecnologia habilitadora para a inovação e o desenvolvimento econômico. A partir deste estudo e tendo em vista a aderência à realidade nacional, as principais sugestões propostas aos gestores da área de Ciência e Tecnologia para a área de materiais avançados são: (i) necessidade de criação de condições favoráveis para a interação entre a Academia e o Setor Privado; (ii) fomento à formação de recursos humanos especializados, com ênfase no empreendedorismo de base tecnológica; (iii) estímulo à cooperação internacional, como forma de promover o intercâmbio de conhecimento de estimular que empresas nacionais de base tecnológica acessem novos mercados no exterior; (iv) especial suporte às áreas portadoras de futuro como, por exemplo, aeroespacial e defesa, energia, saúde e biotecnologia, nanotecnologia e nanomateriais; (v) exploração sustentável da biodiversidade nacional, com vistas a aproveitar o potencial de inovação e descoberta de novos materiais provenientes da biodiversidade nacional; (vi) incentivo à agregação de valor as materiais primas de origem mineral e exploração dos minerais estratégicos, como as terras raras, nióbio e grafeno; e (vii) ênfase na superação dos problemas sociais no Brasil, tais como a pobreza, baixo acesso a água potável, subnutrição, acesso limitado a saúde, saneamento básico inadequado, entre outros.

Palavras-chave: Políticas Públicas, Ciência, Tecnologia e Inovação, Materiais Avançados e Tendências Internacionais.

BELLUCCI, F. S., Public policies in the field of advanced materials, main characteristics and tendencies: Suggestions to the Brazilian S,T&I policy. 2019. 65p. Monograph (Expert on science and technology policy management), Brazilian National School of Public Administration (ENAP), Brasília-DF, Brazil, 2019.

ABSTRACT

In Brazil, the promotion and encouragement to the development of science, technology and innovation are constitutional premises encompassed in the article no. 218 of the Federal Constitution, and, under this framework, the field of advanced materials can be regarded as one of the most important enabling areas, whose innovation potential is emphasized. This field's development is historically muddled up with mankind evolution, since the names of periods such as the stone and the iron ages derive from it, which provided different sorts of benefits, particularly in agriculture and war, for the population that mastered these materials. Currently, advanced materials are still a source of the interest for scholars and the private sector, since they are regarded as the foundation for the promotion of technology-based innovation and, also, because they have the potential to add value and competitive differential. When taking into consideration the efforts of the Ministry of Science, Technology, Innovations and Communications (MCTIC) in the national scientific development and the tenure of the National Science, Technology and Innovation Strategy (ENCTI 2016-2022), which has established Converging and Enabling Technologies as a priority, something that encompasses advanced materials, this work presents an analysis of the most important international public policies in the field of advanced materials, thus identifying their main characteristics, tendencies and priorities, with the intent of subsidizing the devising of a National Plan for Advanced Materials. The countries/blocks selected for analysis were the European Union, the BRIC, United States, Japan and Germany, due to their significant investment in Research and Development (R&D) and the relevance of the field of Advanced Materials as an enabling technology for innovation and economic development. Based on this study, and with the intention to get it to fit the national reality, the main suggestions presented to the managers of Science and Technology in the field of advanced materials are the following: (i) the need to establish favorable conditions for an interaction between the Academy and the Private Sector; (ii) promotion of the training of specialized human resources, geared towards technology-based entrepreneurship; (iii) an incentive to international cooperation, in order to promote a knowledge exchange to boost national technology-based companies to reach new markets abroad; (iv) a special support to future-devoted fields like aerospace and defense, energy, health and biotechnology, nanotechnology and nanomaterials; (v) a sustainable exploitation of national biodiversity, to benefit from the potential for innovation and also the discovery of new materials extracted from national biodiversity; (vi) an incentive to add value to mineral raw materials and to the exploitation of strategic minerals such as rare earths, niobium and graphene; and (vii) emphasize the need to overcome social issues in Brazil, such as poverty, low access to drinking water, malnutrition, limited access to health, improper basic sanitation, among others.

Keywords: Public Policies; Science, Technology and Innovation; Advanced Materials and International Trends.

BELLUCCI, F. S., **Políticas públicas en el área de los materiales avanzados, principales características y tendencias: Sugerencias a la política de C,T&I brasileña.** 2019. 65h. Monografía (Especialista en gestión de políticas de ciencia, tecnología e innovación), Escuela Nacional de Administración Pública (ENAP), Brasília-DF, Brasil, 2019.

RESUMEN

En Brasil, la promoción y el incentivo al desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación son premisas constitucionales previstas en el art. 218 de la Constitución Federal y, en este marco, el área de los materiales avanzados puede ser considerada como una de las principales áreas habilitadoras, con destacado potencial para innovación. El desarrollo de esta área se confunde históricamente con la evolución de la humanidad. Debido a la importancia de los materiales, de ellos deriva el nombre de períodos como la edad de la piedra y de los metales, que garantizaban ventajas, en especial en la agricultura y la guerra, para la población que dominara la transformación de estos materiales. Actualmente, los materiales avanzados continúan despertando el interés de la academia y del sector privado, ya que se consideran la base para la promoción de la innovación de base tecnológica y por tener potencial de agregación de valor y diferencial competitivo. Considerando los esfuerzos del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovaciones y Comunicaciones (MCTIC) para el desarrollo científico nacional y la vigencia de la Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (ENCTI 2016-2022), que establece como prioritaria la temática Tecnologías Convergentes y Habilitadoras, que incluye materiales avanzados, este trabajo presenta un análisis de las principales políticas públicas internacionales en el área de los materiales avanzados, identificando las principales características, tendencias y prioridades de esas políticas, con el objetivo de subsidiar la formulación de un Plan Nacional para Materiales Avanzados. Los países / bloques seleccionados para el análisis fueron Unión Europea, BRICS, Estados Unidos, Japón y Alemania, debido a la alta tasa de inversiones en Investigación y Desarrollo (I&D) y la relevancia del área de Materiales Avanzados como tecnología habilitadora para la innovación y el desarrollo económico. A partir de este estudio y teniendo en cuenta la adherencia a la realidad nacional, las principales sugerencias propuestas a los gestores del área de Ciencia y Tecnología para el área de los materiales avanzados son: (i) necesidad de crear condiciones favorables para la interacción entre la Academia y la Academia el Sector Privado; (ii) fomento a la formación de recursos humanos especializados, con énfasis en el emprendedorismo de base tecnológica; (iii) estímulo a la cooperación internacional, como forma de promover el intercambio de conocimiento de estimular que las empresas nacionales de base tecnológica accedan a nuevos mercados en el exterior; (iv) especial apoyo a las áreas portadoras de futuro como, por ejemplo, aeroespacial y defensa, energía, salud y biotecnología, nanotecnología y nanomateriales; (v) explotación sostenible de la biodiversidad nacional, con el fin de aprovechar el potencial de innovación y el descubrimiento de nuevos materiales procedentes de la biodiversidad nacional; (vi) incentivo a la agregación de valor a las materias primas de origen mineral y exploración de los minerales estratégicos como las tierras raras, niobio y grafeno; y (vii) énfasis en la superación de los problemas sociales en Brasil, tales como la pobreza, bajo acceso al agua potable, desnutrición, acceso limitado a la salud, saneamiento básico inadecuado, entre otros.

Palabras clave: Políticas Públicas; Ciencia, tecnología e innovación; Materiales Avanzados y Tendencias Internacionales.

SUMÁRIO

RESUMO.....	III
ABSTRACT	IV
RESUMEN	V
SUMÁRIO.....	VI
1. INTRODUÇÃO	8
2. CONCEITOS E RELEVÂNCIA DA ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS	11
2.1 CONCEITOS DA ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS	11
2.2 RELEVÂNCIA DA ÁREA E POTENCIAL INOVADOR.....	13
2.3 RELEVÂNCIA INDUSTRIAL E ECONÔMICA DA TEMÁTICA	13
2.4 RELEVÂNCIA ACADÊMICA DA TEMÁTICA.....	15
2.5 GEOPOLÍTICA NA ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS	16
3. ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS NO CONTEXTO BRASILEIRO.....	17
3.1 PRIMEIRAS AÇÕES COORDENADAS DA ÁREA DE MATERIAIS NO BRASIL.....	17
3.2 PESQUISA CIENTÍFICA EM MATERIAIS AVANÇADOS	18
3.3 PROPRIEDADE INTELECTUAL NA ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS NO BRASIL	19
3.4 MATERIAIS AVANÇADOS E O NOVO MARCO LEGAL EM C,T&I, NO BRASIL.....	21
3.5 GOVERNANÇA ESTRATÉGICA NA ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS	23
3.6 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS NO BRASIL	24
3.6.1 PROGRAMA INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA (INCT)	25
3.6.2 CENTROS DE PESQUISA, INOVAÇÃO E DIFUSÃO (CEPID)	26
3.6.3 SISTEMA NACIONAL DE LABORATÓRIOS EM NANOTECNOLOGIAS (SISNANO).....	27
3.6.4 PRINCIPAIS LIÇÕES SUGERIDAS	29
4. PROGRAMAS INTERNACIONAIS PARA MATERIAIS AVANÇADOS.....	29
4.1 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: UNIÃO EUROPEIA	29
4.1.1 PROGRAMA HORIZONTE 2020.....	30
4.1.2 GOVERNANÇA E ROADMAPS EUROPEUS PARA MATERIAIS AVANÇADOS	34
4.2 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: BRICS	36
4.2.1 EIXO DE C,T&I NO ÂMBITO DO BRICS.....	36
4.2.2 GRUPO DE TRABALHO BRICS EM CIÊNCIAS DOS MATERIAIS.....	37
4.2.3 GRUPO DE TRABALHO BRICS PARA INFRAESTRUTURA DE PESQUISA	38
4.2.4 OUTROS GT BRICS COM INTERFACE EM MATERIAIS AVANÇADOS	39

4.3	PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: ESTADOS UNIDOS	41
4.3.1	MODELO DE FOMENTO E ÁREAS PRIORITÁRIAS DE INVESTIMENTO	41
4.3.2	MATERIAIS AVANÇADOS PARA A INDÚSTRIA E A NANOTECNOLOGIA	42
4.3.3	INICIATIVA AMERICANA GENOMA DE MATERIAIS	43
4.3.4	AGÊNCIA DE PROJETOS DE PESQUISA AVANÇADA DE DEFESA	43
4.4	PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: ALEMANHA	45
4.4.1	ECOSSISTEMA ALEMÃO DE INOVAÇÃO	45
4.4.2	PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO E PROSPECÇÃO DE MATERIAIS	47
4.4.3	DESENVOLVIMENTO INTELIGENTE E MATERIAIS TRADICIONAIS	47
4.5	PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: JAPÃO	48
4.5.1	SISTEMA DE INOVAÇÃO E A ÁREA DE MATERIAIS	48
4.5.2	TECNOLOGIAS HABILITADORAS NO JAPÃO	49
4.5.3	COORDENAÇÃO ESTRATÉGICA DA ÁREA DE MATERIAIS	50
4.5.4	MATERIAIS CRÍTICOS E DESENVOLVIMENTO INTELIGENTE DE MATERIAIS	50
5.	PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E A REALIDADE BRASILEIRA	51
5.1	PRINCIPAIS TENDÊNCIAS DOS PROGRAMAS INTERNACIONAIS	51
5.2	ADERÊNCIA DAS TENDÊNCIAS INTERNACIONAIS À REALIDADE BRASILEIRA	54
5.3	OPORTUNIDADES E DESAFIOS BRASILEIROS E A ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS	57
6.	SUGESTÕES FINAIS	59
7.	REFERÊNCIAS	61

1. INTRODUÇÃO

O curso de pós-graduação *lato sensu* “Especialização em Gestão de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação”, ofertado pela Escola Nacional de Administração Pública (ENAP) foi idealizado para capacitar servidores públicos federais e empregados públicos federais para atuarem no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação e, em especial, para desenvolver as seguintes competências: (i) compreender a relação ciência, tecnologia e inovação e desenvolvimento econômico e social; (ii) distinguir e analisar a aplicação de instrumentos de política adequados para diferentes situações; (iii) fortalecer as competências para monitorar e avaliar políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação e sua interação com políticas públicas em temas relacionados; (iv) construir sinergias entre agentes e instituições da ciência, tecnologia e inovação e suas áreas correlatas, bem como aprofundar a atuação brasileira no contexto científico, tecnológico e inovador nacional e internacional; e (v) Compreender as ameaças e oportunidades atuais e futuras enfrentadas por organizações públicas, no âmbito da gestão de ciência, tecnologia e inovação, para formulação de estratégias para o desenvolvimento social, econômico e ambiental sustentáveis e para a elaboração de políticas públicas (ENAP, 2017/18).

Após o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT)* e seu legado, em especial, seu subprograma de planejamento e gestão em C&T (PGCT), este curso de pós-graduação merece especial atenção por ser uma das mais atuais iniciativas nacionais específicas para a capacitação dos gestores que atuam na área de ciência, tecnologia e inovação, que, em geral, exibem sólida formação finalística (física, biologia, engenharia, economia e outras), reconhecimento nacional e internacional por suas contribuições científicas e passam a integrar os quadros de gestão e planejamento da estrutura do Estado, nos mais diferentes níveis e esferas governamentais. Contudo, a Administração Pública é uma área complexa da sociedade, com vertentes de legalidade, gestão, estratégia e planejamento, que demanda um conjunto de conhecimentos e competências específicas e complementares ao conhecimento finalístico do gestor. Do ponto de vista da eficácia da gestão pública, o ideal seriam quadros de gestores que congregassem sólidos conhecimentos finalísticos - garantindo assertividade e legitimidade aos programas públicos - com ampla competência de Administração Pública, para que os princípios da boa gestão pública, legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade e eficiência, sejam observados e cumpridos.

* Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT): programa do Governo Brasileiro, criado a partir de 1984, administrado pelo MCT e operacionalizado pelas agências executora CNPq, FINEP e CAPES, visando promover e estrutura o sistema nacional de ciência e tecnologia do Brasil.

O Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), antigo Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação (MCTI), de acordo com o Decreto nº 8.877, de 18 de Outubro de 2016, tem competência, entre outras, sobre as “Políticas nacionais de pesquisa científica e tecnológica e de incentivo à inovação (Inciso IV)”, cujo documento estratégico é a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022 (ENCTI) (MCTIC, 2017). A ENCTI é o documento de orientação estratégica de médio prazo para a implementação de políticas pública na área de C,T&I, bem como serve de subsídio à formulação de outras políticas de interesse. Além dos desafios nacionais para a C,T&I, eixos estruturantes e polares fundamentais, a ENCTI elenca 12 temas considerados estratégicos para o desenvolvimento da capacidade científica, tecnológica e de inovação nacional, entre elas as Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (TCH). A cargo da Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (CGTC), antiga Coordenação-Geral de Micro e Nanotecnologias (CGNT), vinculada ao Departamento de Políticas de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Estruturantes (DETEC), da Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI), do MCTIC, encontram-se regimentalmente as áreas de Nanotecnologia, Fotônica, Tecnologias para Manufatura Avançada e Materiais Avançados, à qual este autor encontra-se vinculado.

Diante desse escopo, a participação junto ao programa “Especialização em Gestão de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação” congregou elementos de capacitação e profissionalização da gestão na área de C,T&I, bem como estimulou a busca por elementos chaves da área de Materiais Avançados, parte das tecnologias convergentes e habilitadoras, para compor o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para Tecnologias Convergentes e Habilitadoras 2018-2022, previsto na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI).

Problematização: Diante da potencialidade da área de Materiais Avançados e da proeminente necessidade de criação de uma Política Pública nesta área, considerou-se relevante a realização de estudo sistematizado no intuito de responder fundamentalmente à seguinte pergunta de pesquisa: “Quais são os elementos e características essenciais de uma Política Pública para o desenvolvimento nacional da área de Materiais Avançados?”.

Escopo do TCC: Este trabalho de conclusão de curso apresenta uma análise de políticas públicas e de estudos prospectivos na área de materiais avançados, com vistas a identificar as principais características ou eixos estruturantes dessas políticas, identificar tendências na área de materiais avançados e apresentar subsídios, em específico, temáticas e ações prioritárias para o desenvolvimento de um Programa Nacional de Materiais Avançados. Os países/blocos selecionados para análise foram União Europeia, BRICS, Estados Unidos, Japão e Alemanha, devido à

expressividade de investimentos em P&D e a relevância da área de Materiais Avançados como tecnologia habilitadora para a inovação e o desenvolvimento econômico.

Estrutura do TCC: Este documento está organizado em três grandes eixos, a saber: (i) Conceitos gerais e contexto da Área de Materiais Avançados no Brasil, no qual foram abordados temas como a relevância da área, seu potencial inovador, industrial e econômico, bem como alguns dos principais programas nacionais na área (Itens 2 e 3); (ii) Programas internacionais para Materiais Avançados, identificando-se as principais características e tendências dos programas no exterior (Item 4); e (iii) Análise das principais tendências internacionais, sua aderência à realidade do Brasil, oportunidades e desafios brasileiros e sugestões para as políticas públicas nacionais na área de materiais (Itens 5 e 6).

2. CONCEITOS E RELEVÂNCIA DA ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS

Devido a sua transversalidade, a área de materiais avançados se confunde historicamente com as áreas de química e física dos materiais, engenharia de materiais e outras, sendo unanimidade a importância de seu papel para a economia e para o desenvolvimento tecnológico, uma vez que tem permitido elevar a performance dos materiais, reduzir custos, aumentar a vida útil dos componentes, proporcionar um descarte mais sustentável no fim do ciclo do produto e outros avanços. A seguir estão apresentados alguns dos principais conceitos da área, bem como sua relevância em diversos seguimentos.

2.1 Conceitos da Área de Materiais Avançados

Considerando a inter e multidisciplinaridade da área de materiais e sua sobreposição com outras áreas do conhecimento (física do estado sólido, química de materiais, engenharia civil e outras), faz-se necessário, do ponto de vista deste Trabalho de Conclusão de Curso, um recorte conceitual para a área de Materiais Avançados.

Materiais Avançados: Corroborando o Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (Plano de Ação em TCH), vinculado à ENCTI 2016-2022, consideram-se “Materiais Avançados” como “materiais e seu processo tecnológico associado, com potencial para serem explorados em produtos e aplicações de alto valor agregado”. Trata-se de uma temática multidisciplinar (envolvendo, por exemplo, as áreas de física, química e Matemática aplicada), transversal (perpassando áreas tecnológicas como eletrônica, fotônica e biociências) e com mercado multissetorial (abrangendo os mercados de energia, transporte, cuidados de saúde e embalagem). É de fácil constatação que a temática “Materiais Avançados” tem grande interface com diversos setores econômicos como: energia de diversas fontes, telecomunicações, saúde, defesa, agricultura e meio ambiente (MCTIC, 2010).

Materiais Avançados Disruptivos: No escopo do Plano de Ação em TCH, materiais avançados considerados como disruptivos ou potencialmente disruptivos são materiais capazes de provocar uma ruptura, interrupção do curso normal ou descontinuidade dos padrões, propriedades e desempenho já estabelecidos no mercado ou na literatura científica. Neste contexto, o Plano de Ação em TCH contempla, não exaustivamente, as seguintes áreas como disruptivas em materiais avançados: (i) Nanomateriais e Nanocompósitos; (ii) Mapeamento Geológico Marinho (*Blue Mining*); (iii) Descoberta Inteligente de Novos Materiais (*Materials Informatics* ou *Computing Materials*); e (iv) Metamateriais (*Metamaterials*).

Nanomateriais e Nanocompósitos: Nanomateriais são materiais que exibem ao menos uma de suas dimensões na escala nanométrica, $1,0 \times 10^{-9} \text{m}$, o que proporciona propriedades físicas diferenciadas dos materiais em escalas superiores. Já os nanocompósitos são materiais formados por, pelo menos, dois materiais de natureza distinta (polímero, cerâmica, metal e outros), sendo que, ao menos, uma delas está na escala nanométrica. Tal característica confere ao nanocompósitos propriedades físicas superiores às propriedades do compósito e, em geral, a melhora das propriedades são provenientes do aumento da interação entre os materiais, matriz e material disperso (BELLUCCI, 2013). Como exemplo de nanomateriais e nanocompósitos, destacam-se as tintas de alta resistência ao risco, constituída de uma matriz polimérica, tinta convencional, com nanopartículas cerâmicas que aumentam a resistência ao risco das tintas convencionais (KHANNA, 2008).

Mapeamento Geológico Marinho (*Blue Mining*) (BLUE MINING, 2018): Considerando que aproximadamente 70% da superfície terrestre é coberta por mares e oceanos - e o Brasil possui mais de 7 mil quilômetros de área costeira (litoral) -, o mapeamento e identificação de materiais no fundo de mares e oceanos passam a ser estratégicos para o futuro da economia global, com vistas a uma futura mineração sustentável, além de ser fundamental o desenvolvimento de equipamentos resistentes o suficiente para suportar as condições de pressão e desgaste. Cabe mencionar que, no Sistema Nacional de C,T&I, o Brasil tem investido consistentemente nas temáticas água e oceano, dentro da Águas Jurisdicionais Brasileiras (AJB), e uma das últimas realizações nacionais foi o lançamento da plataforma de pesquisas hidroceanográficas navio Vital de Oliveira.

Descoberta Inteligente de Novos Materiais (*Materials Informatics* ou *Computing Materials*) (DARPA, 2018): O escopo deste tema está associado ao modelamento e predição do comportamento de novos materiais com base em sua composição, microestrutura, histórico de processamento e interações. É possível produzir modelos de materiais, com maior ou menor precisão, para aplicações em áreas como: materiais eletrônicos, física e engenharia do estado sólido, nanotecnologia, materiais para óptica avançada, materiais para indústria avançada, termodinâmica de materiais, materiais para a área de energia e outros. Cabe mencionar que, no Sistema Nacional de C,T&I, o Brasil tem investido consistentemente na computação científica, concentrado no Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC), e uma das últimas realizações nacionais foi a implantação do Supercomputador Santos Dumont (capacidade instalada de processamento na ordem de 1,1 Petaflop/s) no LNCC.

Metamateriais (GRAND VIEW RESEARCH, 2017): Entre as áreas disruptivas de Materiais Avançados, especial destaque deve ser dado à temática Metamateriais devido à pouca exploração científico-industrial e ao mercado mundial potencial de aproximadamente U\$ 5 bilhões até 2025. Os metamateriais, cujo prefixo *meta* vem do grego e significa *além de*, podem ser definidos como

materiais, normalmente tradicionais, moldados geometricamente de tal forma a conferir ao novo material propriedades únicas não encontradas no material convencional. A sua conformação espacial não natural - geometria, tamanho, orientação e disposição - pode afetar o modo com que o material interage com a matéria, em especial, com a radiação eletromagnética e o som, de uma maneira não observável no material convencional, propiciando novas propriedades e características ao material.

2.2 Relevância da Área e Potencial Inovador

Cabe salientar que os materiais avançados (novos materiais, materiais funcionais, materiais sintéticos e similares) representam algumas das formas mais diretas de agregação de valor em tecnologias já estabelecidas. Neste sentido, a utilização desses materiais ou o melhoramento de processos para obtenção de materiais tradicionais já são capazes de reduzir custos, melhorar propriedades físicas e químicas (por exemplo: maior resistência térmica, à abrasão e ao envelhecimento, redução da densidade, aumento da condutividade elétrica, entre outras), agregar novas funcionalidades, gerar processos ambientalmente mais sustentáveis, dar nova destinação a resíduos e diversas outras aplicações diretas. Devido a essa versatilidade, a área de materiais avançados exerce papel fundamental nas principais políticas públicas mundiais. Contudo, o Brasil não dispõe hoje de uma Política ou Programa Nacional para Materiais Avançados.

2.3 Relevância Industrial e Econômica da Temática

O desenvolvimento de Materiais Avançados, bem como suas novas aplicações, está revolucionando a forma como empresas fazem negócios e aumentando a complexidade dos desafios colocados aos pesquisadores da área. Há diversas razões pelas quais empresas se concentram no desenvolvimento e utilização de Materiais Avançados, com vistas a disponibilizarem melhores produtos no mercado, mantendo a relação investimento/retorno o mais favorável possível. A seguir, alguns exemplos relacionados às vantagens competitivas que podem ser favorecidas no setor produtivo com o desenvolvimento da temática:

Custos Reduzidos e Maior Rentabilidade: Materiais Avançados, que exibem melhor performance em termos de resistência, leveza e durabilidade, terão sua vida útil prolongada e, conseqüentemente, reduzirão custos associados à substituição e falhas. Tal redução de custo pode aumentar a rentabilidade da produção e compensar desafios tecnológicos associados à operacionalização e à fabricação de materiais relativamente menos funcionais. Exemplo: materiais

espumados são menos densos e, como consequência, utilizam menos matéria prima, logo reduzindo os custos de produção;

Sustentabilidade e Impacto Ambiental: Com o aumento da sensibilidade social ao tema, aumento da responsabilização dos setores produtivos e esforço do Estado associado à sustentabilidade e redução do impacto ambiental na produção e descarte de insumos produtos, a área de Materiais Avançados tem aumentado sua importância estratégica devido ao seu potencial em promover soluções mais sustentáveis do ponto de vista ambiental. Exemplo: Materiais biodegradáveis podem substituir a matéria prima de sacolas e bandejas plásticas, em geral polietileno, reduzindo o impacto ambiental associado ao descarte inadequado destes materiais;

Aumento da Satisfação e Fidelidade do Cliente: Devido às suas propriedades inerentemente melhoradas, Materiais Avançados podem proporcionar produtos finais e experiências que satisfaçam melhor às expectativas do cliente, o que se traduzirá em maior competitividade e satisfação do cliente. Exemplo: Materiais com melhor performance física (resistência a fratura, a retenção de umidade e ao envelhecimento) aumentam a satisfação do cliente em relação ao produto adquirido;

Conformidade Regulatória: Arcabouços legais mais novos e rigorosos impõem novos desafios aos processos de desenvolvimento tecnológico, fabricação e escalonamento de novos produtos. O uso de Materiais Avançados tem grande potencial para auxiliar as empresas no cumprimento da legislação e na promoção da sustentabilidade ambiental, sem, contudo, sacrificar os objetivos de desempenho econômico e produtivo. Exemplo: Materiais multifuncionais demandam menos aditivos químicos, o que normalmente pode facilitar a comprovação da conformidade regulatória da área de aplicação; e

Competitividade e Diferencial de Mercado: O somatório de vantagens citadas anteriormente são aditivos, não excludentes e se traduzem em elevação da competitividade econômico-tecnológica e criação de diferenciais de mercado para os setores público e/ou privado, favorecendo a maior geração de riquezas, a superação dos desafios sociais e a geração de qualidade de vida para a sociedade.

Baseado no potencial do mercado associado aos Materiais Avançados, a Figura 1 apresenta a estimativa de mercado para a área, dividida por setores estratégicos da economia (valores em bilhões de reais) até 2050 (EUROPEAN COMMISSION, 2012). Neste gráfico cabe enfatizar a relevância da área de materiais avançados associada ao meio ambiente, em especial os seguintes tópicos: remediação ambiental, tecnologias para reutilização de resíduos, utilização do potencial de descoberta de novos materiais oriundos da biodiversidade nacional e outros.

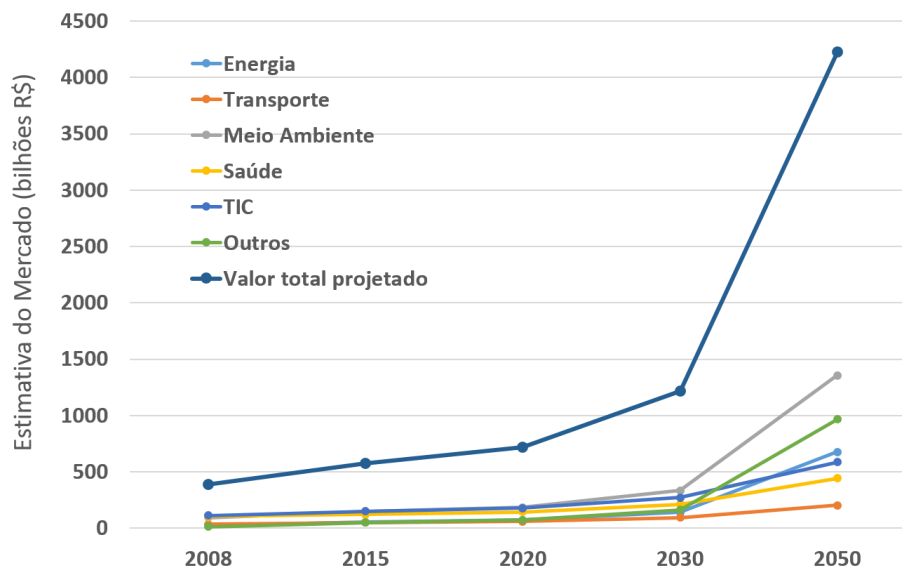


Figura 1. Estimativa de mercado para a área de Materiais Avançados dividida por setores entre 2008 e 2050. Valores em bilhões de reais (EUROPEAN COMMISSION, 2012).

2.4 Relevância Acadêmica da Temática

Devido à inter e multidisciplinaridade desta temática, a área de Materiais Avançados é atendida principalmente por profissionais com formação em cursos de ciências dos materiais, engenharias, matemática, física e química. Tradicionalmente, tais áreas exibem considerável interação com o setor produtivo, bem como são promotoras de novos produtos, agregação de valor em processos manufatureiros e geradores de novos empreendimentos de base tecnológica. Atualmente, o Brasil conta com 66 cursos de graduação reconhecidos pelo Ministério da Educação (MEC) (MEC, 2017) e 36 cursos de pós-graduação (Mestrado e Doutorado) reconhecidos e avaliados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (CAPES, 2017), ofertando, em média, cerca de 7 mil vagas de graduação e 500 vagas de pós-graduação. Tais profissionais, devido ao caráter multidisciplinar da área e excelência de boa parte dos cursos e programas, são tradicionalmente absorvidos pela área tecnológico-científica e pelo setor produtivo empresarial.

Em termos mundiais, há um significativo incremento na pesquisa científica na área de Materiais Avançados, refletido em um crescimento de aproximadamente 140% na produção científica entre 2004 e 2014 (BLAND, 2014), como mostrado na Figura 2. Tais números são significativos quando comparados ao crescimento de outras áreas do conhecimento, bem como sugere temáticas que têm ganhado evidência nos últimos anos como, por exemplo, as áreas de: (i) Geração e armazenamento de energia (células de hidrogênio e fotovoltaica e outras); (ii) Eletrônica (eletrônica

orgânica, spintrônica, plasmônica e etc); e (iii) Biomateriais (medicina regenerativa, sistemas de entrega controlada de drogas e sistemas de diagnóstico por imagens, hipertermia utilizando partículas magnéticas e outras).

PAÍS	% Aumento	Artigos (2014)
China	360%	64.470
EUA	112%	28.947
Índia	260%	12.536
Japão	15%	122.279
Alemanha	76%	11.869

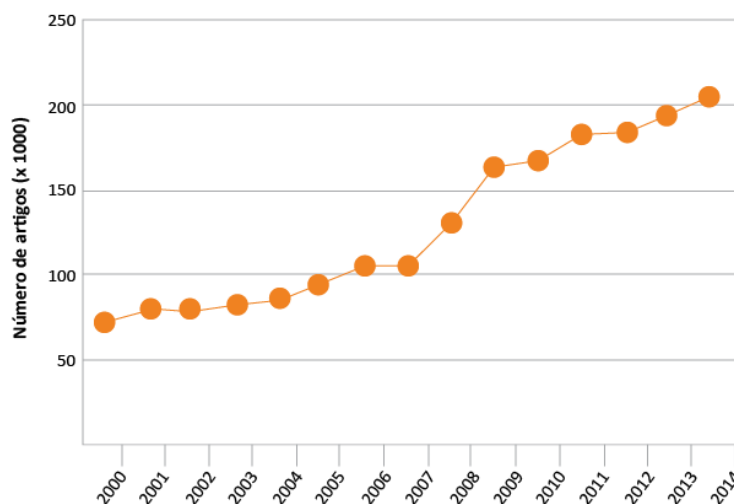


Figura 2. Evolução do número de artigos científicos publicados na área de Materiais Avançados no mundo entre 2004 e 2014 (BLAND, 2014).

Como pode ser visto na Fig. 2, há uma evolução aproximadamente linear da produção científica mundial na área de materiais avançados ao longo dos últimos, sugerindo que os países tem compreendido a importância deste campo para o desenvolvimento da sociedade. Contudo, desafios muito claros na área de materiais ainda continuam latentes no mundo, tais como: (i) a produção economicamente viável de materiais biodegradáveis, que poluem muito menos o meio ambiente; (ii) a melhoria dos processos de beneficiamento de materiais na indústria, visando a redução da utilização de matéria prima e água; (iii) a atualização do currículo e a formação continuada dos profissionais da área de materiais, tendo em vista a rápida mudança tecnológica e o aumento de políticas públicas de fomento ao empreendedorismo de base tecnológica; (iv) modelos de negócio viáveis e competitivos visando o mercado global e não mais o mercado local; entre outros desafios.

2.5 Geopolítica na Área de Materiais Avançados

O conceito de geopolítica está associado à convergência de estratégias e ações nacionais em uma determinada área de interesse internacional, visando a maximização dos resultados das ações nacionais, com reflexos internos e externos. Assuntos da geopolítica mundial incluem riscos e oportunidades em nível global, tais como a crise da água; conflitos mundiais motivados por questões religiosas; influência das grandes potências econômicas no mundo atual; migração involuntária em

larga escala; posição geográfica estratégica; ausência ou presença de recursos naturais mundialmente estratégicos; o uso dos recursos energéticos no mundo; e outros.

No caso específico da área de Materiais Avançados, cabe ressaltar alguns dos principais aspectos associados à geopolítica: (i) a busca da viabilidade econômica do investimento em tecnologia realizado por um determinado segmento, uma vez que, em geral, um desenvolvimento de alta tecnologia precisa ser inserido em mercados internacionais para se tornar viável economicamente; (ii) a manutenção e expansão de mercados consumidores para suas tecnologias; (iii) o controle hegemônico de uma determinada tecnologia estratégica ou bélica; (iv) a manutenção ou mudança de paradigmas tecnológicos que favorecem ou desfavorecem determinados países; e outros. Neste contexto, cabe ao Marco Legal de C,T&I brasileiro contribuir para o país manter sua soberania nacional* em termos do desenvolvimento científico-tecnológica da área de Materiais Avançados e explorar materiais primas mundialmente estratégicas e abundantes no país como, por exemplo, as terras raras, recursos hídricos e o nióbio.

3. ÁREA DE MATERIAIS AVANÇADOS NO CONTEXTO BRASILEIRO

Considerada uma das 12 áreas prioritárias no Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT), materiais avançados vêm recebendo considerável atenção, do ponto de vista das ações públicas em ciência e tecnologia, como será visto nos próximos itens.

3.1 Primeiras Ações Coordenadas da Área de Materiais no Brasil

Acompanhando tendências internacionais e concretizando o compromisso do então presidente eleito do Brasil, Exmo. Sr. Tancredo Neves[†], com a comunidade científica nacional, o presidente do Brasil, Exmo. Sr. José Sarney, criou o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) em 1985, por meio do Decreto n° 91.146, de 15 de março de 1985. Neste período, as principais atividades da pasta estavam concentradas para o desenvolvimento das “Tecnologias de Ponta”, biotecnologia, informática, mecânica precisão, química fina e novos materiais, e foram instrumentalizadas substancialmente pelo então Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (PADCT) (LASTRES; CASSIOLATO, 1995), programa do Governo Brasileiro, criado a partir de

* Soberania Nacional: Em linhas gerais, diz respeito à sua autonomia, ao poder político e de decisão dentro de seu respectivo território nacional, principalmente no tocante à defesa dos interesses nacionais.

† Tancredo de Almeida Neves, presidente eleito do Brasil em 15 de janeiro de 1985, porém, não empossado devido ao seu falecimento em 21 de abril do mesmo ano.

1984, administrado pelo MCT, viabilizado financeiramente por empréstimo do Banco Mundial (BM) e operacionalizado pelas agências executora CNPq, FINEP e CAPES.

O PADCT foi um dos principais instrumentos da Política Científica e Tecnológica brasileira, complementar às ações de fomento pré-existentes e coordenadas pelo CNPq, FINEP, CAPES e Secretaria de Tecnologia Industrial do, à época, Ministério da Indústria e Comércio, e teve por objetivo fortalecer o desenvolvimento científico e tecnológico nacional através do apoio à formação e capacitação de recursos humanos, realização de atividades relacionadas com pesquisa e desenvolvimento e iniciativas orientadas à melhoria da infraestrutura de apoio e serviços. Nesse Programa, em alinhamento com as proposições do Conselho de Ciência e Tecnologia (CCT), foram priorizadas e financiadas 12 áreas de pesquisa *, organizadas como subprogramas, dentre elas o “Novos Materiais” e o “Planejamento e Gestão em C&T” (BARRELLA, 1998).

Nesse contexto, o MCT organizou sua estrutura interna em alinhamento com as estratégias de desenvolvimento científico-tecnológico propostas no PADCT, foi criada a Secretaria de Novos Materiais e, em 1987, foi lançado o primeiro plano nacional estratégico para a área de novos materiais, conhecido como “Programa Bial de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Materiais Avançados”. Esse programa foi idealizado no âmbito da Comissão Especial de Novos Materiais, composta por MCT, FINEP, CNPq, Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e especialistas da área. Um dos principais desdobramentos dessa Comissão foi a implantação do Núcleo de Estudos e Planejamentos em Novos Materiais (NMAT), sediado no INT e responsável por assessorar e subsidiar o MCT nesta temática (DIOGO, 1998).

3.2 Pesquisa Científica em Materiais Avançados

Considerando o cenário nacional para a área de materiais, cabe enfatizar que já há uma comunidade científica consolidada, como pode ser extraído dos dados associados aos cursos de graduação e pós-graduação, que tem produzido da ordem de 5 mil artigos/documentos indexados por ano, nos últimos 03 anos (PORTAL SJR, 2018). Tal produção corresponde a aproximadamente 2,5% da produção mundial na área, o que situa a comunidade brasileira em uma posição de destaque mundial na área. As subáreas que exibem maior produção científica são, respectivamente, materiais miscelâneas, química de materiais e materiais eletrônicos, ópticos e magnéticos (PORTAL SJR, 2018).

* Inicialmente 10 áreas prioritárias/subprograma e expandido para 12 áreas posteriormente.

Realizando uma busca do termo “Materiais Avançados” junto ao Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq (PORTAL CNPq, 2018) foram encontrados 76 grupos de pesquisa, que exibiram o termo citado junto ao nome do grupo, linhas de pesquisa ou palavra-chave da linha de pesquisa. Considerando um universo de 37.640 grupos de pesquisa no diretório em 2016, os 76 grupos de pesquisa associados a materiais avançados representam 0,2% e aproximadamente 711 pesquisadores, uma vez que a média de pesquisadores por grupo de pesquisa é de 9 pesquisadores. Se for considerada a grande área “Engenharia de Materiais e Metalurgia”, os quantitativos de grupos de pesquisa são: 410 em 2016, 301 em 2010, 274 em 2004 e 156 em 1996, representando uma elevação de 2,6 vezes em 20 anos, entre 1996 e 2016.

Com base no número de grupos de pesquisa em materiais, 76 grupos (0,2% do total), e mesmo considerando que a área de materiais é tradicional no Brasil, é possível constatar que a comunidade científica na área de materiais avançados ainda é reduzida em termos quantitativos. Contudo, em termos qualitativos, a comunidade brasileira da área produz resultados expressivos, 2,6% da produção científica mundial. Diante deste contexto, surge como desafio o aumento do quantitativo da comunidade de materiais avançados no Brasil e, preferencialmente, aumentando a qualidade dos resultados e direcionando-os para atender os desafios sociais e produtivos e oportunidades nacionais.

3.3 Propriedade Intelectual na Área de Materiais Avançados no Brasil

O tema Propriedade Intelectual é fundamental para garantir o direito exclusivo de exploração econômica e comercial, agregar valor econômico ao patrimônio intangível do desenvolvedor e assegurar os investimentos realizados. Na área de Materiais Avançados colocam-se algumas dificuldades para essa quantificação, por ser uma área “meio”, quando, em geral, os pedidos de propriedade intelectual concentram-se no produto ou processo final (MDIC, 2018). Contudo, estimular o processo de registro de propriedade intelectual na área de materiais avançados é uma excelente oportunidade para aproximar a geração de conhecimento da geração de tecnologia, transformar conhecimento em patrimônio intangível e garantir a proteção dos investimentos realizados em desenvolvimento tecnológico.

Registro de Patentes na Área de Materiais Avançados: De acordo com a Lei da Propriedade Industrial (Lei nº 9.279/96), que regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial no Brasil, tanto as patentes de invenção como os modelos de utilidade são protegidos por patentes. No entanto, apresentam requisitos e prazos de proteção diferentes. Em 2016, o INPI recebeu 31.020 pedidos de patentes, apresentando a terceira redução anual seguida (-6,1% em relação a 2015) desde o recorde de 34.046 pedidos em 2013. Os residentes nos EUA apresentaram maior número de

depósitos, com participação de 29,4% no total, seguidos por residentes no Brasil, com 26,1%. Considerando a temática de interesse, Materiais Avançados, foi realizado um recorte metodológico pelo autor nos 35 campos tecnológicos correspondentes (classificação internacional de patentes) destacando aqueles associados à área de materiais (1-Semicondutores, 2-Química Macromolecular, polímeros, 3-Química de materiais básicos e 4-Materiais, Metalurgia). A evolução temporal do número de concessão de patentes de invenção associados a área de materiais está listado na Tabela 1 e apresentado na Figura 3*.

Tabela 1. Concessões de Patentes do Tipo Patente de Invenção pelo Campo Tecnológico correspondente, seguindo a classificação IPC (*International Patent Classification*)*.

Setor	Área	Campo	2000	2005	2010	2016	Acumulado	%
Eng. Elétrica e Eletrônica	Semicondutores	8	2	3	0	12	61	1%
		17	392	176	199	136	2939	28%
Química	Química de materiais básicos	19	486	170	183	484	4217	41%
	Materiais, Metalurgia	20	447	173	164	198	3135	30%

Fonte: Base de Dados Estatísticos sobre Propriedade Industrial (BADEPI),

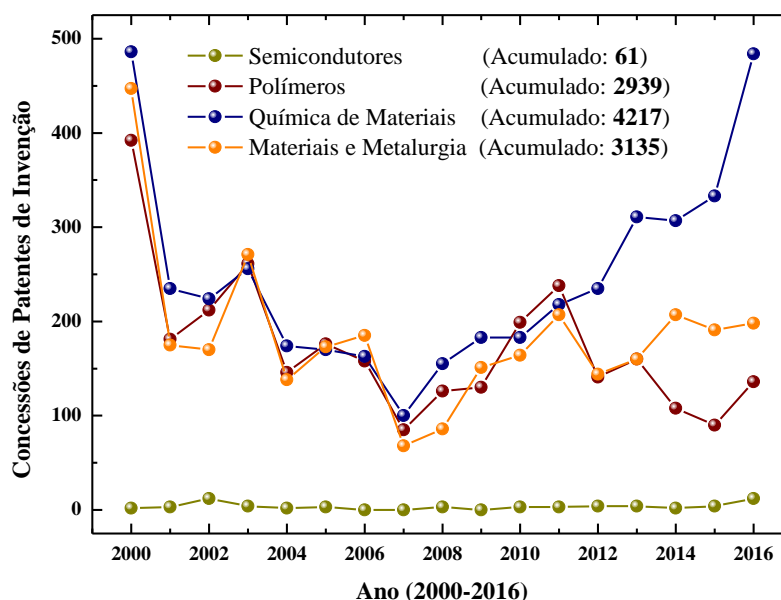


Figura 3. Evolução temporal (2000-2016) do número de concessões de patentes do tipo patente de invenção em função do campo tecnológico correspondente. No interior do gráfico, o valor acumulado de concessões patentárias por campo.

* Base de Dados Estatísticos sobre Propriedade Industrial (BADEPI), Indicadores de Propriedade Industrial, Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Disponível em: www.inpi.gov.br. Acessado em: 03/04/2018.

Com base nos dados da Fig. 3 e Tab. 1, é possível tecer algumas considerações sobre o registro de patentes na área de materiais: (i) Como esperado, áreas de maior valor agregado e relativamente mais recentes como semicondutores e tecnologia de polímeros exibem valores menores, 1%, de concessão de patentes de invenção. Associa-se as áreas de maior valor agregado, o fato que tais tecnologias, em geral, são detidas por grupos multinacionais e nem sempre são protegidos via patente de invenção; (ii) Comparando com o acumulado de concessões até 2016 - total de 55.352 concessões -, a área de materiais responde por 19% (10.352) do total de concessões, evidenciando a expressividade da área para a promoção da inovação no Brasil; e (iii) Segundo a Pesquisa de Inovação 2016 (Pintec) *, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e que nos fornece um retrato das atividades inovadoras das empresas brasileiras, 36% das empresas brasileiras introduziram algum tipo de inovação no período de 2012-2014. Em números absolutos, isso equivale a 47.693 empresas. Considerando o mesmo período (2012-2014), foram concedidas, no total, 8.415 patentes de invenção, o que equivale a 1 patente a cada 5,7 empresas. Cabe registrar que, no final de 2017, havia um estoque de aproximadamente 230 mil pedidos de depósito de propriedade intelectual pendentes de análise no INPI, com um tempo médio de 10 anos para concessão.

Mesmo considerando que não há uma relação linear e direta entre o número de patente e o quantitativo de empresas com atividades inovadoras, tal proporção de 1 patente a cada 5,7 empresas é um indicativo que corrobora negativamente com o atual quadro de desindustrialização nacional (redução da indústria de transformação no Brasil), uma vez que, instituições produtivas inovadoras, segundo a Teoria Schumpeteriana (SCHUMPETER, 1997), são a figura central para o desenvolvimento econômico da nação, bem como a inovação é vista como estratégia central de sobrevivência da firma (célula unitária do setor privado). Nos anos 80 e 90, no ponto mais alto da industrialização nacional, o setor industrial representou 35% da produção nacional e, atualmente, não supera 12%. Neste sentido, considerado o atual quadro de desindustrialização nacional, cabe enfatizar que a área de materiais avançados pode contribuir/dar suporte para intensificar as atividades inovadoras no setor privado, bem como contribuir para potencializar a agregação de valor tecnológico e proporcionando maior competitividades ao setor privado.

3.4 Materiais Avançados e o Novo Marco Legal em C,T&I, no Brasil

O arcabouço legal e de instituições no Brasil sofreu um considerável adensamento apenas nos últimos 70 anos e tal fato é facilmente identificado quando observa-se o considerável conjunto de leis

* Pesquisa de Inovação: 2014. IBGE, Coordenação de Indústria. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 105 p.

e normativos nacionais referentes a C,T&I. Entre as principais leis que organizam direta ou indiretamente o Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI) podem ser mencionadas: A emenda constitucional nº 85, de 26 de fevereiro de 2015, que incorporou o termo “inovação” à Constituição Federal, Lei de sementes, Lei da Biodiversidade, Leis de Propriedade Intelectual e, mais recentemente, o Marco Legal da Ciência, Tecnologia e Inovação (Lei nº 13.243/2016) e seu decreto de regulamentação (Decreto nº 9.283/2018), que atualizou 09 leis anteriores associadas e atualizou conceitos correlatos a C&T. Como esperado, a edição do Novo Marco Legal reverbera sobre o desenvolvimento da ciência e tecnologia nacional, incluindo a área de materiais avançados.

Implicações Diretas do Novo Marco Legal para Área de Materiais Avançados: O Brasil, em geral, compõe o grupo dos países com geração de conhecimento científico capaz de promover produção tecnológica - vide casos de sucesso como os setores da aviação civil e agronegócio -, apesar de tal fato ainda não se refletir nos números de produção de ativos intelectuais (Brasil produz 2,7% dos artigos mundiais e apenas 0,7% das patentes mundiais (IPEA, 2016). Neste contexto, a atualização do arcabouço legal de C,T&I, abre, em especial, a oportunidade de desenvolvimentos incrementais serem considerados como inovação, um dos tipos de inovação não previstos anteriormente na legislação nacional e que foi incluído na edição do Novo Marco Legal para CTI. O Art. 2º, Inciso IV do novo Marco Legal passou a trazer a seguinte definição para a Inovação: “introdução de novidade ou aperfeiçoamento no ambiente produtivo e social que resulte em novos produtos, *serviços ou processos ou que compreenda a agregação de novas funcionalidades ou características a produto*, serviço ou processo já existente que possa resultar em melhorias e em efetivo ganho de qualidade ou desempenho”. Para a área de Materiais Avançados, este ponto é especialmente importante, uma vez que as melhorias de desempenho de produtos proporcionada pela melhoria ou utilização de Materiais Avançados não eram contempladas anteriormente como inovação, a despeito de serem utilizadas extensivamente no setor privado.

Oportunidades e Dificuldades da Atualização do Marco Legal: Com a sanção da lei e edição do decreto, um conjunto de oportunidades transversais, não exclusivas para a área de Materiais Avançados, foi aberto para impulsionar a inovação no país. Cabe destaque para as seguintes oportunidades: (i) criação de alianças estratégicas, que permitirão a exploração de modelos de inovação sistêmicos (IPEA, 2014); (ii) novos instrumentos de fomento à inovação, como o bônus tecnológico para micro, pequena e médias empresas; (iii) autorização para que ICTs participem minoritariamente do capital social de empresas de base tecnológica para desenvolver produtos ou processos inovadores; e outros fundos de investimento e encomendas tecnológicas. Como principal ponto associado à implementação do Marco Legal, cabe destaque à “instrumentalização” das novas

funcionalidades previstas no Marco Legal, principalmente via normativos governamentais ou via Política de Inovação de cada ICT, para que não haja a descaracterização dos seus propósitos fundamentais.

Concentração dos dispositivos do Marco Legal nas ICTs: Considerando os principais dispositivos adicionados pela atualização do Marco Legal de C,T&I, é possível observar que, como esperado, grande parte deles promovem ajustes, adequações ou facilidades aos mecanismos de fomento à C,T&I do Estado e das Instituições de Ciência e Tecnologia (ICTs), ressaltando que são principalmente nestas instâncias que o Poder Público tem alcance. Contudo, cabe reforçar que as principais inovações tecnológicas, promotoras da geração de riqueza, acontecem no setor privado. Neste sentido, cabe ao país (Estado, sociedade civil e setor privado) envidar esforços para que os novos instrumentos do Marco Legal sejam absorvidos pelas diversas instâncias da sociedade.

3.5 Governança Estratégica na Área de Materiais Avançados

Um dos pontos sensíveis em um Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, que deve estar previsto no Marco Legal, é sua capacidade de se movimentar estrategicamente, de forma coesa e orientada, na direção da solução dos desafios nacionais e aproveitamento das oportunidades intrínsecas do país. Tal característica está diretamente associada à capacidade de governança estratégica da área.

Dificuldades e Oportunidades da Governança Estratégica: É de conhecimento comum a importância da existência de mecanismos de governança estratégica, com vistas a aproveitar as sinergias, não duplicar esforços, não repetir equívocos anteriores, não investir recursos financeiros e esforços em programas similares, a menos que seja intencional, etc. Especificamente na área de Materiais Avançados, mesmo o Brasil contando com instituições e programas sólidos na área, não são de fácil identificação os mecanismos ou instâncias interinstitucionais responsáveis, ainda que minimamente, por garantir a articulação, harmonização, priorização e direcionamento dos esforços do Estado, bem como proporcionar à sociedade (comunidade acadêmica, setor produtivo, associações e outros) um espaço participativo e democrático para discutir as oportunidades, dificuldades e possíveis ações conjuntas neste campo. Visando reduzir tal lacuna, o MCTIC e suas instituições vinculadas - em especial FINEP e CNPq - e a CAPES-MEC vêm trabalhando na articulação, mobilização e organização estratégica da área de materiais avançados no Brasil, assessorados respectivamente por um comitê consultivo e um comitê de área.

CCNANOMAT: A governança, proposição, implementação e avaliação das atividades relacionadas aos materiais e vinculadas à Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação

(ENCTI 2016-2022) estão a cargo da Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (CGTC), da SEMPI/MCTIC, com assessoria do Comitê Consultivo de Nanotecnologia e Materiais Avançados (CCNANOMAT), instituído pela Portaria MCTIC n° 324, de 17 de janeiro de 2018. Cabe salientar que o CCNANOMAT representa uma instância de representação da comunidade científica e de setores produtivos e usuários.

Área de Materiais na CAPES: Considerando a característica multidisciplinar e a complexidade da área de materiais avançados, que, como consequência, demanda a formação de recursos humanos de excelência e a geração de conhecimento científico de fronteira, foi criada a área de Materiais na Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em 2007 (CAPES, 2017), cabendo a esta coordenação avaliar, tecer orientações e recomendações à CAPES referentes aos 36 cursos de pós-graduação (Mestrado e Doutorado). Cabe enfatizar que tais orientações: (i) não são vinculantes aos programas de pós-graduação, uma vez que os programas têm autonomia para conduzirem suas ações de acordo com o planejamento estratégico da instituição; (ii) não objetivam a orientação das ações destes programas, visando apenas orientar a CAPES quando a excelência do programa avaliado; e (iii) os programas de pós-graduação, em geral, envidam esforços para atender as recomendações, visando elevar a excelência do programa e seu conceito junto a CAPES.

3.6 Programas de Materiais Avançados no Brasil

Historicamente, o governo brasileiro, em especial por meio do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações e suas agências de fomento, bem como das Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa (FAPs), tem articulado e fomentado programas estruturados para o desenvolvimento da C,T&I nacional como, por exemplo, o Programa Institutos do Milênio em 2001 e o Programa de Apoio aos Núcleos de Excelência (Pronex) em 2003. Seguindo esta linha, os três principais programas nacionais de pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação mais recentes que contemplaram diversas áreas, incluindo a área de Materiais Avançados, são: (i) Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) (INCT, 2017; CONFAP, 2016); (ii) Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID), da FAPESP (CEPID; FAPESP, 2017); e (iii) Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO) (SISNANO; MCTIC, 2019).

3.6.1 Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT)

O Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia foi oficialmente lançado em 27 de novembro de 2008 pelo antigo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), atual MCTIC, e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com metas ambiciosas e abrangentes associadas à possibilidade de mobilizar e agregar, de forma articulada, os melhores grupos de pesquisa em áreas de fronteira da ciência e em áreas estratégicas para o desenvolvimento sustentável do país; impulsionar a pesquisa científica básica e fundamental competitiva internacionalmente; estimular o desenvolvimento de pesquisa científica e tecnológica de ponta associada a aplicações para promover a inovação e o espírito empreendedor, em estreita articulação com empresas inovadoras.

Além de promover o avanço da competência nacional nas devidas áreas de atuação, criando ambientes atraentes e estimulantes para alunos talentosos de diversos níveis, do ensino médio ao pós-graduado, o Programa também foca na formação de jovens pesquisadores, apoio à instalação e ao funcionamento de laboratórios em instituições de ensino e pesquisa e empresas, proporcionando melhor distribuição nacional da pesquisa científico-tecnológica e qualificação do país em áreas prioritárias para o seu desenvolvimento regional e nacional. Os Institutos Nacionais devem ainda estabelecer programas que contribuam para a melhoria do ensino de ciências e a difusão da ciência para o cidadão comum. Do ponto de vista do fomento aos Institutos, foram realizadas três chamadas pública pelo MCTIC, via CNPq, nos anos de 2008, 2010 e 2014, que aportaram respectivamente R\$ 435, R\$ 30 e R\$ 641,7 milhões, totalizando R\$ 1.106,7 milhões. Os recursos citados foram aportados pelo MCTIC, via FNDCT, CNPq e FINEP, CAPES e algumas Fundações Estaduais de Amparo à Pesquisa, tais como FAPESP, PAFERJ e FAPEMG.

Alguns dos principais resultados alcançados pelo programa INCTs foram (INCTs, 2010; SOUZA-PAULA, 2012): (i) aumento da interação entre pesquisadores de diferentes regiões do Brasil; (ii) a nucleação e o fortalecimento de grupos de pesquisa em diferentes regiões do país; (iii) o aumento da formação de recursos humanos, em especial, alunos de iniciação científica e pós-graduação; (iv) o aumento das publicações científicas e depósitos de patentes; (v) o aprendizado na gestão de uma grande rede de pesquisa; (vi) o aumento de iniciativas multidisciplinares de pesquisa; (vii) a intensificação da cooperação e integração dos INCTs com grupos de pesquisa no exterior; (viii) redução das desigualdades científicas entre as regiões do país – concentração regional; (ix) intensificação da cooperação entre as redes de pesquisa com o setor privado e com a sociedade; entre outros.

Para a temática Materiais Avançados, com base nas linhas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico dos 122 INCTs contratados em 2008, foram identificados oito INCTs (7% do total dos

INCTs ou 25% do total de INCTs em áreas correlatas*) com ações que a envolvem direta ou indiretamente, a saber: (i) INCT de Nanomateriais de Carbono; (ii) INCT em Materiais Complexos Funcionais; (iii) INCT de Materiais em Nanotecnologia; (iv) INCT de Fluidos Complexos; (v) INCT de Nanodispositivos Semicondutores (DISSE); (vi) INCT de Fotônica; (vii) INCT de Eletrônica Orgânica (INEO); e (viii) INCT de Óptica e Fotônica.

Algum dos Principais Resultados – Entre os principais resultados dos INCTs da área de Materiais Avançados, destacam-se[†]: (i) Publicações em revistas de alto fator de impacto (FI) na área, tais como *Scientific Reports-Nature*, *Nano Letters* (FI: 13,2), *Advanced Functional Materials* (FI: 10,2) e *Chemical Communications* (FI: 8,1); (ii) Empresas de base tecnológica, tais como Nanox, Kosmoscience, Fortlab, Sencer e Icrá; (iii) Criação de jogos didáticos para a educação científica como, por exemplo, Ação Ludo, Ludo Radical e Half na Floresta; (iv) Adensamento da formação de recursos humanos especializados em nível de pós-graduação; e (v) Desenvolvimento de novos materiais para dispositivos ópticos com potencial de utilização na área de saúde para monitoramento da perda mineral (óssea), dispositivos odontológicos, tratamento de traumas sem manipulação humana e outras.

3.6.2 Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID)

O programa CEPID foi idealizado pela FAPESP em 2000, com suporte a 11 Centros de pesquisa de 2001 até 2013. Em 2011, foi anunciada uma segunda chamada de propostas, que deu origem aos 17 CEPIDs atualmente apoiados. O Programa tem como missão desenvolver investigação fundamental ou aplicada, focada em temas específicos; contribuir ativamente para a inovação por meio de transferência de tecnologia; e oferecer atividades de extensão voltadas para o ensino fundamental e médio e para o público em geral. O perfil mais relevante dos Centros é a multiplicidade de suas atividades, cabendo aos Centros o desenvolvimento de pesquisa fundamental ou aplicada de alto nível, mas também buscar oportunidades de contribuir para a inovação de base tecnológica, empreendedorismo, transferência de conhecimento para o setor privado e para a sociedade.

O processo de seleção dos 17 CEPIDs mobilizou 150 revisores brasileiros e estrangeiros e um comitê internacional composto por 11 cientistas convidados, além dos comitês internos da FAPESP. As propostas foram avaliadas pelo mérito científico, ousadia, originalidade, competitividade internacional e pela qualificação das equipes e suas lideranças. O financiamento total para os 17

* Áreas correlatas: Engenharia e Tecnologia da Informação, Exatas e Naturais e Nanotecnologia

† Resultados obtidos diretamente no site dos INCTs da área de materiais avançados.

Centros está estimado em cerca de R\$ 1,4 bilhão, com R\$ 760 milhões da FAPESP e R\$ 640 milhões em salários pagos pelas instituições sedes aos pesquisadores e técnicos, por um período de 11 anos. Cabe enfatizar que o programa estimulará a captação de fundos adicionais pelos Centros junto à indústria e outras agências de financiamento à pesquisa.

Cada um dos CEPIDs é acompanhado por um comitê consultivo internacional e seus resultados e planos de pesquisa terão sua continuidade avaliada pela FAPESP, no 2º, 4º e 7º anos. Os temas de pesquisa dos 17 Centros incluem: alimentos e nutrição; vidros e cerâmica; materiais funcionais; neurociência e neurotecnologia; doenças inflamatórias; biodiversidade e descoberta de novas drogas; toxinas, resposta imune e sinalização celular; neuromatemática; ciências matemáticas aplicadas à indústria; obesidade e doenças associadas; terapia celular; estudos metropolitanos; genoma humano e células-tronco; engenharia computacional; processos oxidantes e antioxidantes em biomedicina; violência; e óptica, biofotônica e física atômica e molecular.

Para a temática Materiais Avançados, com base nas linhas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, foram identificados 04 CEPIDs (24% do total de CEPIDs) com ações que envolvem direta e indiretamente esta área. A saber: (i) Centro de Pesquisa para o Desenvolvimento de Materiais Funcionais; (ii) Centro de Pesquisa, Educação e Inovação em Vidros; (iii) Centro de Pesquisa em Óptica e Fotônica de Campinas; e (iv) Centro de Pesquisas em Óptica e Fotônica.

Algum dos Principais Resultados - Como alguns dos principais resultados dos CEPIDs da área de Materiais Avançados, destacam-se*: (i) O desenvolvimento de materiais na escala nanométrica com propriedades melhoradas, como no caso de nanopartículas de prata com maior capacidade bactericida, 30 vezes maior que as partículas disponíveis atualmente no mercado; (ii) A geração de novos materiais com propriedade que se assemelha a invisibilidade, no qual o material alterna entre opaco e transparente; (iii) O desenvolvimento de novos materiais para a indústria avançada, como novos materiais vítreos para impressão em três dimensões; e (iv) A criação de uma plataforma de testes ópticos (KyaTera) para testes de novas tecnologias provenientes dos parceiros acadêmicos ou industriais.

3.6.3 Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO)

O Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia (SisNANO), uma das principais ações da Iniciativa Brasileira de Nanotecnologia (IBN), instituído pela Portaria nº 245, de 5 de abril de 2012, e regulamentado pela Instrução Normativa nº 2, de 15 de junho de 2012, é um sistema de

* Resultados obtidos diretamente no site dos CEPIDs da área de materiais avançados.

laboratórios direcionados à pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) em nanociências e nanotecnologia, tendo como característica essencial o caráter multiusuário e de acesso aberto, mediante submissão de propostas de projetos de PD&I ou de requisição de serviços.

Os recursos recebidos pelos laboratórios, majoritariamente do MCTIC, têm os objetivos de: (i) melhorar a infraestrutura e mantê-los internacionalmente competitivos; (ii) permitir a incorporação, fixação e manutenção de corpo técnico-científico de alta qualificação, adequado ao desenvolvimento das missões desses laboratórios; e (iii) permitir que funcionem de forma aberta, atendendo usuários e instituições dos setores público e privado. O SisNANO está sob responsabilidade da Coordenação-Geral de Desenvolvimento e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras (CGTC), da Secretaria de Empreendedorismo e Inovação (SEMPI), do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

O Sistema é formado por duas categorias de laboratórios: os Laboratórios Estratégicos vinculados diretamente ao Governo Federal e que têm o compromisso de disponibilizar, no mínimo, 50% do tempo de uso dos equipamentos para usuários externos; e os Laboratórios Associados. Em 2012, quando foi realizada a chamada pública para contratação dos laboratórios que comporiam o SisNANO, cinquenta propostas foram recebidas e analisadas pela CGTC e pelo Comitê Consultivo de Nanotecnologia (CCNano), das quais 26 foram selecionadas, sendo 8 de Laboratórios Estratégicos e 18 de Laboratórios Associados. Desde o início do Programa, em 2013, os laboratórios receberam aproximadamente R\$ 88 milhões de recursos do MCTIC/FNDCT para implementação e manutenção do SisNANO. Os recursos aportados visaram principalmente a melhoria da infraestrutura laboratorial, a manutenção do corpo técnico-científico qualificado para o desenvolvimento das missões dos laboratórios e para viabilizar o acesso aberto aos laboratórios, atendendo usuários e instituições dos setores públicos e privados.

Algum dos Principais Resultados - Como alguns dos principais resultados do SisNANO na área de Nanotecnologia, com considerável interface com a área de Materiais Avançados, destacam-se*: (i) celebração de 203 (duzentos e três) projetos de parceria envolvendo ICTs, públicas ou privadas, e empresas, sendo que tais projetos totalizaram cerca de R\$ 122 milhões provenientes de outras fontes, tais como, FINEP, BNDES, EMBRAPPII e Sibratec; (ii) realização de prestação de serviços tecnológicos ao setor privado e outras ICTs, que totalizaram cerca de R\$ 6 milhões, revertidos para manutenção dos laboratórios e continuidade dos projetos; (iii) Aquisição de mais de 300 (trezentos) equipamentos com recursos de capital disponibilizados no âmbito do Programa

* Folder institucional do MCTIC apresentando os principais resultados o Programa SisNANO.

SisNANO; e (iv) celebração de mais de 120 (cento e vinte) projetos em parceria com instituições e empresas internacionais, principalmente provenientes de Estados Unidos, Portugal e França.

3.6.4 Principais Lições Sugeridas

Com base nos principais resultados provenientes dos três programas apresentados anteriormente (INCT, CEPID e SisNANO) é possível extrair um conjunto de potenciais lições para as políticas públicas de C,T&I no Brasil, tais como: (i) programas estruturados na forma de redes de integração exibem maior potencial para promover o desenvolvimento coletivo da subárea; (ii) programas com duração média de, pelo menos, cinco anos exibem maior potencial de consolidação da temática e dos grupos de pesquisa; (iii) programas transversais envolvendo diversas áreas correlatas à área de materiais avançadas estimulam a sinergia entre as áreas e tem maior potencial de para produzir resultados de maior complexidade; entre outras.

Uma vez explorado o contexto da área de Materiais Avançados no Brasil e alguns dos principais programas nacionais dedicados ao desenvolvimento desta área no Brasil, o próximo item do estudo abordará os programas internacionais para Materiais Avançados dos países selecionados.

4. PROGRAMAS INTERNACIONAIS PARA MATERIAIS AVANÇADOS

Materiais avançados são uma importante prioridade estratégica para a maioria das sociedades cuja economia é pautada no conhecimento. Os materiais avançados não são apenas considerados indutores chaves para a inovação para uma série de tecnologias e setores industriais, mas também são vistos como essenciais para sustentar a indústria de alto valor agregado. Neste sentido, países e comunidades têm se organizado ao longo dos anos para fomentar a temática materiais avançados e é importante para o planejamento das políticas públicas nacionais conhecer as principais iniciativas internacionais, visando identificar e, se conveniente e oportuno, adaptar à realidade nacional as boas práticas e programas internacionais.

4.1 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: UNIÃO EUROPEIA

A União Europeia congrega países com longa e notória tradição científica e de inovação em materiais avançados (Alemanha, França, Reino Unido, Espanha e outros), cooperação internacional, bem como exhibe tradição na formação de recursos humanos especializados nesta temática. Cabe

ênfatizar que a temática ciência e tecnologia, de forma geral e com planos específicos para a área de tecnologias convergentes e habilitadoras, que inclui a temática materiais avançados, vem mantendo sua condição de eixo prioritário e vem sendo fomentada continuamente por décadas de forma estruturada, sendo seu principal instrumento o programa-quadro o “Horizonte 2020”.

4.1.1 Programa Horizonte 2020

O Programa Horizonte 2020 é o maior programa de pesquisa científica e inovação da União Europeia, visando estimular a excelência científica da Europa e conduzindo a novas descobertas, avanços e lançamento de produtos com inserção mundial. Estão disponíveis aproximadamente € 80 milhões (R\$ 270 milhões) no período de sete anos (2014-2020). Cabe ressaltar que este valor (€ 80 milhões) é destinado à todas as áreas do conhecimento e não apenas à área de materiais, bem como não contabiliza os recursos de contrapartida financeira ou econômica proveniente dos parceiros acadêmicos e industriais, europeus ou não europeus.

Neste ponto cabe ênfatizar o conceito de Multiplicador ou impacto dos investimentos públicos em P&D, proposto por Georghiou (2015), o qual indica que o valor geral gerado pela pesquisa pública é entre três e oito vezes o investimento inicial durante todo o ciclo de vida dos efeitos (3-8x o investimento inicial é, portanto, um multiplicador). Quando calculados em termos de taxas de retorno anuais, os valores médios estão entre 20% e 50%. Extrapolando este resultado empírico para os aportes do Programa Horizonte 2020*, estima-se que o valor repercutido na economia europeia esteja entre R\$ 810 milhões e R\$ 2,2 trilhões, não contabilizando os investimentos diretos do setor produtivo.

O Programa Horizonte 2020 está alicerçado em três pilares que o Parlamento Europeu considera como suficientes para sustentar o crescimento econômico: excelência científica, desafios sociais e liderança industrial (COMISSÃO EUROPEIA, 2014). A seguir, a ideia associada a cada uma das temáticas:

(i) Excelência Científica: Este pilar do Programa Horizonte 2020 objetiva reforçar a posição da UE enquanto líder mundial na área da ciência, atraindo os cérebros mais brilhantes e ajudando os cientistas a trabalhar em estreita colaboração e a partilhar ideias em toda a Europa. Ajuda pessoas talentosas e empresas inovadoras a promover a competitividade europeia, criando postos de trabalho e contribuindo para elevar a qualidade de vida da sociedade.

* Estimativas realizadas pelo autor deste TCC.

(ii) Desafios Societais ou da Sociedade: A UE identificou sete desafios prioritários em que o investimento direcionado à investigação e inovação pode produzir um impacto real em benefício dos cidadãos: (a) Saúde, alterações demográficas e bem-estar; (b) Segurança alimentar, agricultura e silvicultura sustentável, investigação marinha, marítima e de águas interiores, e bioeconomia; (c) Energia segura, não poluente e eficiente; (d) Transportes inteligentes, ecológicos e integrados; (e) Ação climática, eficiência na utilização de recursos e matérias-primas; (f) Sociedades inclusivas, inovadoras e reflexivas; e (g) Sociedades seguras, proteção da liberdade e a segurança da Europa e dos seus cidadãos.

(iii) Liderança Industrial: Para a manutenção e ampliação dos nichos industriais nos quais a UE atua, é imperioso que a Europa invista em tecnologias promissoras e estratégicas para a indústria de ponta. Mas atualmente tem-se claro que somente o financiamento público não basta. A UE precisa incentivar as empresas a investirem mais em pesquisa científica de fronteira em áreas chave. As empresas lucram, tornando-se mais inovadoras, eficientes e competitivas. Isto, por seu turno, cria novos postos de trabalho e oportunidades de mercado. Cada euro investido pela UE gera cerca de 13 euros direta e indiretamente para as empresas. Estima-se que aumentar o investimento europeu para 3 % do PIB até 2020 criaria mais 3,7 milhões de postos de trabalho.

Explorando o pilar “liderança industrial” identificam-se três frentes de atuação bem definidas, a saber: Liderança em tecnologias habilitadoras e industriais; Suporte a micro e pequenas empresas; e Acesso ao capital de risco. O programa Horizonte 2020 apoia as tecnologias portadoras de futuro e disruptivas necessárias para a consolidação da inovação, como as tecnologias da informação e espacial. As tecnologias habilitadoras chaves ou *Key Enabling Technologies (KETs)*, como os materiais avançados, fotônica, nanotecnologia e biotecnologia, estão no centro de produtos inovadores, por exemplo, smartphones, sistemas de armazenamento de energia, estruturas mais leves, nanomedicamentos, tecidos inteligentes e outros. A relevância econômica das tecnologias habilitadoras também está refletida no montante destinado a essa área no Programa, que supera os 13 bilhões de euros ou mais de 40 bilhões de reais.

Materiais Avançados no Eixo Liderança Industrial do Programa Horizonte 2020: Realizando uma busca da temática Materiais Avançados na plataforma da União Europeia e nos Programas de Trabalho (2014-2015, 2016-2017 e 2018-2020), em especial nos três eixos do programa Horizonte 2020 (excelência científica, desafios da sociedade e liderança industrial), o termo “*advanced materials*”, como esperado, foi encontrado mais expressivamente nos eixos Liderança Industrial e Pesquisa de Excelência. No eixo de Liderança Industrial buscou-se identificar como a temática Materiais Avançado foi abordada em cada um dos 03 Programas de Trabalho:

Programa de Trabalho 2014-2015 (WORK PROGRAMME, 2014-2015): Neste Programa de Trabalho, a temática Materiais Avançados foi explorada no âmbito das KETs, no sub-eixo “Liderança em Tecnologias Habilitadoras e Industriais”, temática “Nanotecnologias, Materiais Avançados, Biotecnologia e Manufatura e Processamento Avançado”. Nesta temática, seis áreas/conceitos foram consideradas prioritárias: (i) Superação da lacuna entre as pesquisas em nanotecnologia e o mercado; (ii) Nanotecnologia e materiais avançados para cuidados mais eficazes em saúde; (iii) Nanotecnologia e Materiais Avançados para produção de energia com baixa emissão de carbono e maior eficiência energética; (iv) Explorar o potencial multidisciplinar das nanotecnologias e materiais avançados para impulsionar competitividade e sustentabilidade da indústria; (v) Segurança de aplicações baseadas na nanotecnologia e suporte para o desenvolvimento da regulamentação; e (vi) Abordar as necessidades de suporte à governança, padrões, modelos e estruturação da nanotecnologia, materiais avançados e fabricação e processamento avançados. Nestas seis áreas foram realizadas 40 chamadas públicas, todas com um desafio específico, escopo, impacto esperado, orçamento disponibilizado e tipo de ação (pesquisa ou inovação). Neste Programa de Trabalho, em geral, o nível de maturidade da tecnologia (TRL*) identificado foi de TRL 4-5 e o objetivo foi desenvolver a tecnologia para níveis de TRL 6-7.

Programa de Trabalho 2016-2017 (WORK PROGRAMME, 2016-2017): Como no caso anterior, neste Programa de Trabalho a temática Materiais Avançados foi explorada no âmbito das KETs, mesmo sub-eixo e mesma temática do Plano anterior. Neste contexto, cinco áreas/conceitos foram consideradas prioritárias: (i) Materiais Avançados e Nanotecnologias para produtos e processos industriais de alto valor agregado; (ii) Nanotecnologia e materiais avançados para cuidados mais eficazes em saúde; (iii) Nanotecnologia e Materiais Avançados para aplicações em energia; (iv) Modelamento computacional de materiais para o desenvolvimento de nanotecnologias e materiais avançados; e (v) Avaliação e gestão de riscos baseados na ciência para a nanotecnologia, materiais avançados e biotecnologia. Nestas cinco áreas foram realizadas 26 chamadas públicas, todas com um desafio específico, escopo, impacto esperado, orçamento disponibilizado e tipo de ação (pesquisa ou inovação). Neste Programa de Trabalho, em geral, o nível de maturidade da tecnologia identificado foi de TRL 4-5 e o objetivo foi desenvolver a tecnologia para níveis de TRL 6-7.

Programa de Trabalho 2018-2020 (WORK PROGRAMME, 2018-2020): Na mesma linha dos programas anteriores, neste Programa de Trabalho a temática Materiais Avançados foi explorada no âmbito das KETs, mesmo sub-eixo e mesma temática dos Planos anteriores. Assim, quatro

* Nível de Maturidade da Tecnologia ou *Technology Readiness Level* (TRL): é uma sistemática que permite classificar, em um determinado instante, o nível de maturidade de uma tecnologia particular, bem como facilita a comparação entre a maturidade de diversas tecnologias.

áreas/conceitos foram consideradas prioritárias: (i) Testes de Inovação Aberta; (ii) Caracterização de materiais e modelagem computacional; (iii) Governança, Avaliação de riscos baseada na ciência e aspectos regulatórios; e (iv) Energia limpa através de materiais inovadores. Nestas quatro áreas foram realizadas 23 chamadas públicas, todas com um desafio específico, escopo, impacto esperado, orçamento disponibilizado e tipo de ação (pesquisa ou inovação). Neste Programa de Trabalho, em geral, o nível de maturidade da tecnologia identificado foi de TRL 4-5 e o objetivo foi desenvolver a tecnologia para níveis de TRL 6-7.

Com base nas principais informações coletadas nos Programas de Trabalho 2014-2020 fica evidente a transversalidade da temática Materiais Avançados (abrangendo diversas áreas estratégicas como saúde, energia e sustentabilidade) e sua relevância estratégica como tecnologia habilitadora para a busca pela liderança industrial, uma vez que a temática foi recorrente em diversas partes dos Programas de Trabalho. As áreas de atuação variaram ao longo dos três programas, o que pode sugerir ajustes ou evolução natural das temáticas, uma vez que não há como exaurir cada tema em apenas um Programa de Trabalho. Neste aspecto, as áreas que tiveram maior recorrência e continuidade foram as áreas de energia, regulação e modelagem computacional. Para a União Europeia, especial atenção deve ser dada à área de modelagem computacional, uma vez que a expectativa é que esta área acelere o desenvolvimento de novos materiais, na medida em que reduz o tempo e o custo necessários para novos desenvolvimentos.

Materiais Avançados no Eixo Excelência Científica do Programa Horizonte 2020: No eixo de Excelência Científica a temática materiais avançados foi principalmente fomentada na forma de projetos europeus em tópicos específicos como o grafeno, ligas metálicas, materiais funcionais e outros. A seguir, como a temática foi enfatizada em cada Programa de Trabalho:

Programa de Trabalho 2014-2015 (WORK PROGRAMME, 2014-2015): Neste Programa de Trabalho a temática Materiais Avançados foi explorada no sub-eixo “Tecnologias Emergentes e Futuras”. Neste sub-eixo, uma das áreas prioritárias (*flagship*) foi o grafeno. Este tema conduz a ciência e as tecnologias para uma nova classe de materiais, superando a era do silício, trazendo o grafeno e seus materiais relacionados, dos laboratórios acadêmicos para indústria, fábricas e sociedade.

Programa de Trabalho 2016-2017 (WORK PROGRAMME, 2016-2017): Como no caso anterior, neste Programa de Trabalho a temática Materiais Avançados foi explorada no mesmo sub-eixo do programa anterior. Neste ciclo, a temática grafeno exibiu grande evidência. Contudo, uma nova área foi explicitada “Novas tecnologias para energia e materiais funcionais”, com as seguintes subáreas: ecossistema de engenharia e construções complexas tipo *bottom-up*, ambas associadas a temática Materiais Avançados.

Programa de Trabalho 2018-2020 (WORK PROGRAMME, 2018-2020): Na mesma linha dos programas anteriores, neste Programa de Trabalho a temática Materiais Avançados foi explorada no mesmo sub-eixo dos programas anteriores. Além da temática grafeno, outras linhas que complementaram a temática Materiais Avançados foram: Tecnologias da vida (materiais híbridos), Tecnologias disruptivas para micro-energia e armazenamento (materiais inteligentes para gerar e armazenar energia ou o desenvolvimento de novos tipos de baterias), Engenharia de Materiais Inteligentes e Nanoescala (Novos materiais e sistemas que permitem a concepção e fabricação de novos componentes e dispositivos para a área de TIC) e Novo dispositivos e sistemas disruptivos de produção, conversão e armazenamento de energia (energia renovável).

No âmbito das “Tecnologias Emergentes e Futuras”, os principais projetos europeus conduzidos ao longo dos três programas de trabalho foram: No campo dos **Materiais Avançados** (H2020 FET, 2017) - Abiomater (área: meta materiais), Flipt (área: mimetismo), Grafeno (área: aplicações do grafeno), Icarus (área: ligas metálicas), Innosmart (área: materiais inteligentes), Lirichfcc (área: armazenamento de energia) e Microflusa (área: micro fluídica). No campo da **Nanotecnologia** (H2020 FET, 2016) - 2D-Ink (área: semicondutores), Circle (área: governança científica), Diacat (área: fabricação de diamantes), Grafeno (área: aplicações do grafeno), Linabiofluid (área: mimetismo), Magicsky (área: spintrônica magnetismo), Nanosmell (área: nariz eletrônico), Ultraqcl (área: laser) e Zoterac (área: semicondutores).

Como esperado, há grandes diferenças entre as ações associadas à temática Materiais Avançados no âmbito dos eixos Liderança Industrial e Excelência Científica, uma vez que o primeiro está diretamente associado à interação com o setor produtivo, enquanto o segundo está destinado ao avanço da fronteira do conhecimento na área de materiais avançados. No eixo Excelência Científica há uma maior flexibilização e menor continuidade nas chamadas propostas, bem como, na maioria das chamadas, não cabe a avaliação do nível de maturidade da tecnologia (TRL). Consequentemente, devido à maior flexibilização das ações de Materiais Avançados, a identificação direta das ações nessa temática exhibe maior complexidade. Cabe destacar também que neste eixo fomenta-se fortemente a interação entre grupos distintos, preferencialmente de áreas não correlatas, com vistas à integração científica e manutenção da posição de liderança europeia em algumas áreas.

4.1.2 Governança e Roadmaps Europeus para Materiais Avançados

Como mencionado anteriormente, o sistema europeu de inovação é singular, uma vez que congrega e alinha interesses, sistemas nacionais de inovação e agendas de interesses dos países membros. Neste sentido, as três principais organizações europeias de ciência, tecnologia e inovação

são o Conselho Europeu de Pesquisa (*European Research Council – ERC*), cuja principal função é planejar estrategicamente a pesquisa europeia, o Centro Conjunto de Pesquisa (*Joint Research Centre - JRC*), cuja missão principal é assessorar o Conselho Europeu de Pesquisa, e a Diretoria Geral de Pesquisa e Inovação (*Directorate-General of Research and Innovation - DG-R*), cuja atribuição central é coordenar e promover a pesquisa no âmbito europeu.

O principal instrumento identificado para orientar políticas públicas na área de materiais avançados foi a construção de *Roadmaps*, sendo os dois principais: (i) *Roadmap* para materiais habilitadores para tecnologia de baixo carbono (*Materials Roadmap Enabling Low Carbon Technologies* (WORKING PAPER, 2011)) e (ii) *Roadmap* para Pesquisa em Materiais (*Research Road Mapping in Materials* (ROAD MAPPING, 2010)). O primeiro *roadmap* explorou a interface entre as áreas de materiais e energias limpas, não derivadas do petróleo, tais como as energias eólica, solar, geotérmica, proveniente da biomassa e outras oportunidades, bem como explorou as condições de contorno para que tal sinergia pudesse ocorrer como, por exemplo, a infraestrutura, recursos humanos, instrumentação e outros. Já o segundo *roadmap* foi dedicado a identificar o estágio atual, a posição europeia em relação ao estado da arte e desafios de um conjunto de materiais considerados estratégicos para superar desafios para a liderança industrial e sociais.

Um dos pontos de destaque das ações europeias para a área de materiais avançados é a ênfase na sinergia entre materiais avançados e as áreas de nanociência e manufatura. Nesta configuração é possível explorar as oportunidades da matéria na escala nanométrica (nanociência), sua manifestação nas propriedades macroscópicas do material (materiais avançados) e a aplicação destes materiais nos processos de manufatura, na forma de agregação de valor, novos produtos, aperfeiçoamento de propriedades do material e outras formas.

A Figura 4 mostra um organograma aproximado representando o sistema de suporte ao campo da ciência, tecnologia e inovação da União Europeia, com reflexos na área de materiais avançados.

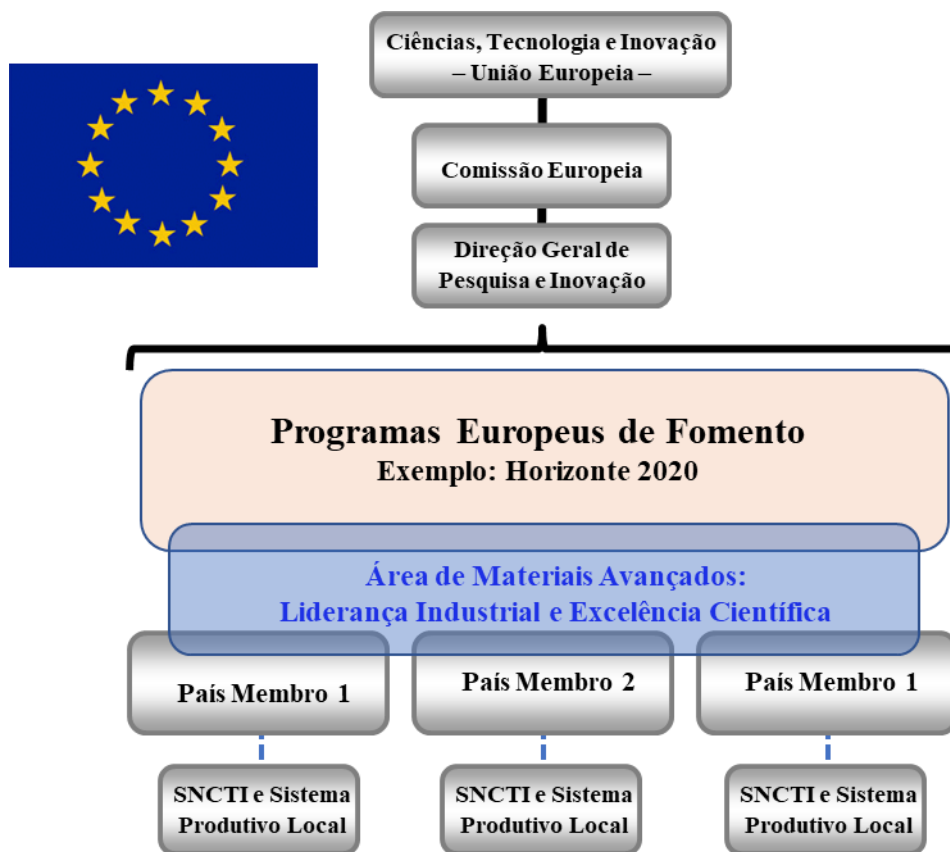


Figura 4. Organograma aproximado do modelo de fomento da União Europeia para o campo da ciência, tecnologia e inovação, com reflexos na área de materiais avançados.

4.2 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: BRICS

BRICS é um acrônimo associado aos países membros fundadores (o grupo BRIC: Brasil, Rússia, Índia e China), que juntos formam um grupo político de cooperação em diversos setores da sociedade (BRAZIL BRICS, 2017). O BRICS tem concentrado suas principais ações em duas principais vertentes: (i) a coordenação em reuniões e organismos internacionais, com frequentes posicionamentos conjuntos e harmônicos; e (ii) a construção de uma agenda de cooperação multissetorial entre seus membros, em especial, para os interesses econômicos e científicos. Na área de ciência, tecnologia e inovação, há diversos níveis de discussão e ações, que abrangem a temática de materiais avançados.

4.2.1 Eixo de C,T&I no âmbito do BRICS

Os países do BRICS, como países emergentes e em desenvolvimento que, em geral, exibem processos tardios de industrialização e de abertura para o mundo, necessitam de um esforço

relativamente maior que o realizado pelos países desenvolvidos, para reduzir lacunas de desenvolvimento científico, tecnológico e econômico. (VIOTTI, 2004). Neste sentido, cabe salientar a importância do fomento à C,T&I no âmbito do BRICS, em especial, às missões orientadas pela demanda, com vistas a reduzir: (i) a diferença existente atualmente entre a produção de conhecimento científico (artigos) e a geração de tecnologia (patentes); (ii) transferência do conhecimento produzido para o setor privado, (iii) inserção do setor produtivo nas cadeias mundiais de produção, (iv) agregação de valor à produção nacional e outros aspectos.

Para as áreas de Ciências, Tecnologia e Inovação, em 2015 foi celebrado um Memorando de Entendimento para cooperação e foram estabelecidas três instâncias de governança e tomada de decisão: (i) Reunião dos Ministros de C,T&I dos BRICS (*BRICS Ministerial Meetings*), (ii) Reunião de Oficiais Sêniores em C,T&I dos BRICS (*BRICS STI Senior Officials Meeting (SOM)*), e Grupos de Trabalho em C,T&I dos BRICS (*BRICS STI Working Groups (WG)*). No que se refere a Materiais Avançados foram identificadas quatro ações que envolvem direta e indiretamente esta área, a saber: (i) Centro BRICS de Ciências dos Materiais e Nanotecnologia; (ii) Grupo de Trabalho BRICS sobre Infraestruturas de Pesquisa e Mega Projetos de Ciência; (iii) Fórum BRICS de Jovens Cientistas; e (iv) Agências de Fomento dos BRICS – Chamada Multilateral Conjunta. Aqui, destaque será dado para as duas primeiras iniciativas.

4.2.2 Grupo de Trabalho BRICS em Ciências dos Materiais

O Grupo de Trabalho BRICS em Ciências dos Materiais e Nanotecnologia (*BRICS Working Group on Materials Science and Nanotechnology*) foi aprovado durante a 5ª Reunião dos Ministros de C,T&I dos BRICS em Julho de 2017 e registrado na Declaração BRICS de Hangzhou-China. A primeira reunião do Grupo de Trabalho, realizada em Outubro de 2017 em Ekaterinburg-Rússia, quando se discutiu a colaboração dos BRICS no campo da ciência dos materiais e das nanotecnologias, sendo indicado, como eixo estruturante das ações do Grupo de Trabalho, a criação do Centro BRICS de Ciência de Materiais e Nanotecnologias (*BRICS Network Center for Materials Science and Nanotechnology*) (GOVERNO FEDERAL, 2016).

Um dos principais objetivos da primeira reunião do Grupo de Trabalho foi estabelecer os principais objetivos desse Centro, que ficaram definidos como: (i) Combinar os esforços das principais instituições dos países BRICS para produzir pessoal altamente qualificado nos campos da ciência dos materiais e da nanotecnologia, bem como facilitar o intercâmbio acadêmico de estudantes, professores e pesquisadores dos BRICS; (ii) Identificar as áreas mais promissoras de pesquisa e desenvolvimento básico e aplicado no campo da ciência dos materiais e da nanotecnologia; (iii)

Reforçar a cooperação científica e técnica dos países BRICS no campo de ciência dos materiais e nanotecnologia; e (iv) Promover a pesquisa científica que conduza à economia baseada na inovação.

As principais áreas identificadas inicialmente como mais promissoras para o desenvolvimento de novos materiais avançados funcionais foram: (i) Materiais para engenharia de energia, incluindo materiais para armazenamento e conversão de energia; (ii) Materiais nanoestruturados, incluindo nanomateriais para células solares, nanodispositivos e sensores; (iii) Materiais Magnéticos, incluindo materiais multiferróicos e compósitos magnéticos de matriz polimérica; (iv) Metalurgia química e física; (v) Materiais semicondutores e opto-eletrônicos, incluindo materiais para conversão de luz e semicondutores heteroestruturados; e (vi) Materiais para medicina e biologia, incluindo materiais biocompatíveis e novos princípios ativos.

Considerando o estágio inicial do Grupo de Trabalho dos BRICS em Ciências dos Materiais e Nanotecnologias, fica latente a necessidade de continuidade da ação com vistas a tornar o Centro mais robusto tecnicamente e fazer com que suas diretrizes tenham reflexos nas políticas públicas para a área nos países do BRICS. Já há evidências das primeiras articulações e alinhamentos entre esse Grupo de Trabalho e outros, com vistas a alinhar os esforços para maximizar os resultados tecnológicos a serem obtidos. Contudo, somente o fato de ter sido considerada como prioritária durante as Reuniões dos Ministros de C,T&I dos BRICS já reforça reconhecimento do caráter estratégico habilitador da área de Materiais Avançados para novos processos inovadores, desenvolvimento de produtos e processos e agregação de valor tecnológico.

4.2.3 Grupo de Trabalho BRICS para Infraestrutura de Pesquisa

Infraestrutura científica de alta complexidade como, por exemplo, aceleradores de partículas e reatores nucleares, pode ser considerada como um dos pilares para a descoberta e desenvolvimento de novos materiais. Neste sentido, os países do BRICS, durante a 3ª Reunião dos Reunião dos Ministros de C,T&I, em Outubro de 2015, aprovaram e registraram na Declaração BRICS de Moscou-Rússia a criação do Grupo de Trabalho BRICS sobre Infraestruturas de Pesquisa e Mega Projetos de Ciência (*Working Group BRICS on Research Infrastructure and Mega Science Projects*). Este GT tem por objetivo discutir e estabelecer parâmetros e mecanismos para o compartilhamento de infraestrutura científica de alto nível entre os países membros do grupo, bem como a identificar a possível atuação conjunta no estabelecimento de Mega projetos de ciência fundamental e aplicada, desenvolvimento tecnológico e inovação. A primeira reunião deste Grupo de Trabalho BRICS foi realizada no *Joint Institute for Nuclear Research (JINR)* em Dubna-Rússia, em 2017; a segunda reunião foi organizada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)

do Brasil e realizada no Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM) em Campinas-SP, em 2018, uma vez que o Brasil concluirá seu o maior projeto de ciência e tecnologia da história, em termos de investimento e complexidade científica, o “Acelerador Sirius – Nova Fonte de Luz Sincrotron de 4° Geração”.

Após a primeira reunião do Grupo de Trabalho BRICS, os principais pontos destacados pela delegação brasileiro foram: **(i) Percepção sobre o Grupo de Trabalho** - O estabelecimento deste fórum de discussão consiste em uma excelente oportunidade de compartilhamento e busca conjunta de financiamento para infraestrutura de pesquisa e mega projetos de ciência, proporcionar acesso a infraestrutura científica de alta qualidade à comunidade científica nacional e estimular a internacionalização da pesquisa nacional e cooperação científica entre os países do BRICS. **(ii) Percepção sobre a Participação Brasileira na Grupo de Trabalho** - Durante o evento foi possível constatar que o Brasil tem grande potencial para ocupar uma posição de destaque na articulação do Grupo de Trabalho, por contar com uma considerável infraestrutura científica, ciência de qualidade, posição geográfica estratégica, mercado consumido diferenciado e, principalmente, por não exibir limitantes geopolíticos. **(iii) Demandas Estratégicas de Curto e Médio Prazo** - Sugere-se que sejam discutidos pontos, tais como, determinação de quais infraestruturas serão disponibilizadas inicialmente, mecanismos nacionais para dar difusão ao tema e as oportunidades que serão abertas e mecanismos nacionais para a mobilidade de pesquisadores, com vistas a acessar as infraestruturas disponibilizadas.

Cabe enfatizar que este Grupo de Trabalho BRICS é estratégico para o desenvolvimento mais sofisticado da área de Materiais Avançados, uma vez que ele pode permitir a construção, disponibilização e acesso a infraestruturas de alta complexidade e de alto valor de implantação e manutenção, como, por exemplo, a nova fonte de Luz Sincrotron de 4° Geração – Sirius (CNPEM-Brasil) e o Projeto NICA (Dubna-Rússia), *Nuclotron-based Ion Collider Facility*, que será destinado a identificar diversos estados da matéria (hádron, quark-glúon plasma e processo de transição).

4.2.4 Outros GT BRICS com interface em Materiais Avançados

Além dos Grupos de Trabalho BRICS citados nos itens anteriores, existem outros dois grupos BRICS com interface associada à área de materiais avançados, apresentados a seguir:

- **Fórum BRICS de Jovens Cientistas:** o Fórum, proposto pela Índia em 2015 e aprovado no Plano de Trabalho em C,T&I do BRICS 2015-2018, tem como principal objetivo promover oportunidades para troca de conhecimentos e estabelecer rede de contatos entre jovens cientistas dos cinco países. A segunda edição do Fórum, realizada em 2017, teve como tema “*Building Young*

Scientists' Leadership in Science, Technology and Innovation” e se concentrou em 04 grandes áreas, sendo uma delas a área de materiais.

- **Chamada Multilateral Conjunta das Agências de Fomento dos BRICS:** O Grupo de Trabalho é composto por representantes das agências de fomento dos países do BRICS e é dedicado a planejar e realizar chamadas conjuntas de ciência, tecnologia e inovação, em especial, nas áreas temáticas dos demais Grupos de Trabalho, incluindo materiais avançados. Desde a concepção do Grupo de Trabalho já foram realizadas 03 chamadas conjuntas com os objetivos de consolidar a cooperação científica e tecnológica entre os países, apoiar o desenvolvimento de projetos conjuntos de investigação, promover a mobilidade e o desenvolvimento dos investigadores por meio dos projetos conjuntos de pesquisa e fortalecer o vínculo de pesquisadores dos países participantes nas áreas propostas.

A Figura 5 mostra um organograma aproximado representando o sistema de suporte à área de materiais avançados no âmbito do BRICS sendo que os objetivos e áreas dos grupos de trabalho BRICS já foram definidos pelos grupos, em alinhamento com as orientações provenientes das reuniões de ministro e oficiais sêniores.

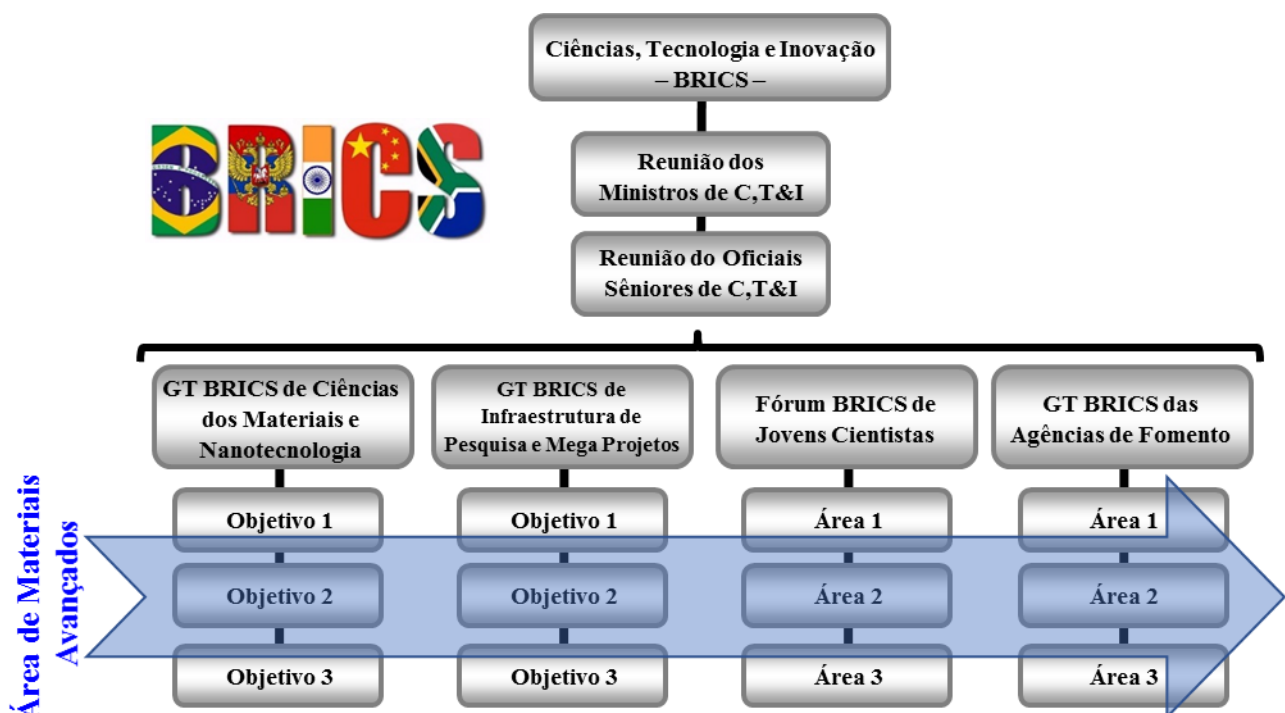


Figura 5. Organograma ilustrando do modelo de suporte de suporte a área de materiais avançados no âmbito do BRICS, incluindo os grupos de trabalho e reuniões ministeriais e de oficiais em C,T&I.

4.3 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: ESTADOS UNIDOS

O sistema de inovação dos Estados Unidos é caracterizado por uma forte valorização do investimento em ciência, tecnologia e inovação oriundo principalmente do Estado, por meio das suas diversas agências orientadas por missão, mas com forte influência do setor privado. Tal característica se reflete na área de Materiais Avançados, para a qual não há especificamente um Programa Nacional, mas a temática está presente nos mais diversos planos setoriais.

4.3.1 Modelo de Fomento e Áreas Prioritárias de Investimento

Os Estados Unidos são o país que mais investe em ciência, tecnologia e inovação, considerando o valor absoluto aplicado, com investimentos da ordem de 2,74% do PIB em C,T&I em 2016, o que equivale a mais de 2 trilhões de reais. Em termos percentuais, o investimento americano em C,T&I é superado por diversos países como Dinamarca (2,87% do PIB), Japão (3,14% do PIB), Alemanha (2,93% do PIB) e Suécia (3,25% do PIB), indicando a percepção dos países desenvolvidos quanto a importância de investir em C,T&I para superar seus desafios internos.

Na organização do sistema americano de ciência, tecnologia e inovação, os departamentos [Departamento de Energia (DoE) e de Defesa (DoD)], agências [Agência Espacial Americana (Nasa) e Institutos Nacionais de Saúde (NIH)] e fundações [Fundação Nacional de Ciência (NSF) e Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (NIST)] são os principais instituições protagonistas federais para o desenvolvimento setorial e, por consequência, da área de materiais avançados em respectivos seus setores. Neste sentido, os departamentos, agências e fundações americanas da área de C,T&I investem consideravelmente em materiais avançados, mas são investimentos direcionados para a resolução de problemas específicos e geração de produtos/soluções setoriais e não apenas no estudo das propriedades dos materiais. Em adição, cada instância de desenvolvimento americana conta com seu orçamento próprio, negociado anualmente em conjunto com o congresso nacional, e destina parte deste orçamento para o alcance das suas metas e objetivos institucionais, que reverberam sobre o desenvolvimento de materiais avançados.

Em termos de áreas prioritárias, cabe mencionar que, em 2012, as quatro principais áreas fomentadas em C,T&I nos Estados Unidos com recursos públicos foram: Defesa (56%), Saúde (22%), ciência básica em geral (8%) e Espaço (6%). Considerando que nessas áreas o desenvolvimento tecnológico está diretamente associado ao desenvolvimento de novos materiais, pode-se extrapolar que tais áreas são prioritárias para materiais avançados nos Estados Unidos. Cabe registrar que os direcionamentos estratégicos de diversas iniciativas nacionais são orientados por conselhos de

especialistas vinculados diretamente à Casa Branca, o que garante o caráter vinculante das decisões tomadas, como é o caso da Iniciativa Americana de Nanotecnologia, que conta com um comitê consultivo, com representantes das principais instituições de pesquisa e desenvolvimento setorial, especialistas da academia e setor empresarial.

Uma característica do sistema de inovação americano que merece especial atenção é a contratação de atividades de pesquisa e desenvolvimento pelo governo federal. Analisando os dispêndios gerais dos Estados Unidos em 2014, que totalizaram US\$ 2,8 trilhões, 16,1% deste total, o equivalente a US\$ 445 bilhões em valores absolutos foi destinado a compras públicas realizadas pelo governo, representaram 2,5% do PIB americano. Deste total de compras públicas, 9,2% ou US\$ 41,3 bilhões foram compras ou contratações públicas em Pesquisa e Desenvolvimento (RAUEN, 2017). Cabe mencionar que, no mesmo ano, o Brasil investiu, incluindo pós-graduação, aproximadamente um quarto deste valor em pesquisa e desenvolvimento, sendo uma parcela diminuta deste total na forma de compras públicas (RAUEN, 2017, 376). Neste sentido, observa-se que o poder de compra do Estado pode ser um excelente indutor da inovação na sociedade em determinados campos do conhecimento, tais como defesa e saúde. No Brasil, o Ministério da Saúde tem grande expertise em parcerias público-privadas para desenvolver a cadeia produtiva de insumos da saúde para atender o Sistema Único de Saúde (SUS), sendo que, compras públicas podem ser uma estratégia de utilização do poder de compra do Estado em favor do atendimento às demandas sociais e à indução da inovação tecnológica.

4.3.2 Materiais Avançados para a Indústria e a Nanotecnologia

Um dos pontos mais interessantes para a área de materiais nos Estados Unidos é a atenção dada pelo país à interface entre a área de materiais e a indústria avançada, cabendo enfatizar que o país dedicou diversas políticas públicas para revitalizar e aumentar a competitividade da indústria. Na visão americana, a área de materiais avançados exerce um papel importante para a indústria avançada, uma vez que se busca a multi-funcionalização dos materiais, aumento da vida útil do maquinário, materiais de referência, redução de custos e aumento de performance física. Neste sentido, materiais avançados foi identificada como um dos quatro pilares do Plano Estratégico Nacional para Indústria Avançada dos Estados Unidos (STRATEGIC PLAN, 2012). Os outros três eixos/pilares do plano são: plataforma tecnológicas para produção; processos para indústria avançada; e infraestrutura de dados e desenvolvimento.

Frequentemente, a nanotecnologia, em especial os materiais nanométricos (não dimensional, uni, bi e tridimensional), são identificados como elementos prioritários nas políticas nacionais para

materiais avançados. Nos Estados Unidos a nanotecnologia e os nanomateriais têm sido fortemente fomentados, em especial, por meio da Iniciativa Nacional de Nanotecnologia (NNI) (NSET, 2011), que atualmente almeja potencializar a produção de novos produtos oriundos da nanotecnologia e a agregação de valor em produtos já estabelecidos. Um dos transbordamentos do investimento em nanotecnologia é sua considerável capacidade de gerar conhecimento, instrumentação científica e recursos humanos de alto nível, atributos desejáveis para toda sociedade cuja economia é baseada no conhecimento.

4.3.3 Iniciativa Americana Genoma de Materiais

A Iniciativa Americana Genoma de Materiais (*Materials Genome Initiative Strategic Plan*) (MATERIALS GENOME, 2014), cujo nome faz alusão ao processo de decodificação do DNA humano, está centrada na facilitação da descoberta, desenvolvimento, produção e aplicação de materiais avançados até duas vezes mais rápido com relação ao tempo tradicional de desenvolvimento de um novo material e por apenas uma fração do custo. A parte central da iniciativa é modelo de inovação para os materiais, uma vez que integra avançadas técnicas de modelagem, análise de grandes conjuntos de dados armazenados (*big data*) e ferramentas experimentais, bem como aproximar redes de pesquisadores, laboratórios nacionais, setor privado e setor público. Os quatro objetivos da Iniciativas estão centrados em: (i) mudar a cultura da pesquisa em materiais, encorajando a integração entre os diversos atores do Sistema Nacional de Inovação; (ii) integrar ferramentas experimentais, computacionais e teóricas para materiais; (iii) fomentar bancos de dados abertos; e (iv) criar uma nova classe de profissionais em materiais avançados capazes de trabalhar na interface entre a pesquisa e o mercado.

Tal iniciativa está alinhada com o objetivo americano - e de diversos países desenvolvidos – de reduzir o risco de seu sistema de produção com relação a materiais críticos, que não são abundantes no país, como é o caso das terras raras (LIRA, 2017) e outros cuja cadeia de suprimento é incerta. Neste caso, este Programa auxilia na busca por materiais alternativos, formas de reaproveitamento, melhorias na extração e processos que reduzam a dependência do país com relação a fontes externas.

4.3.4 Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa

A Agência de Projetos de Pesquisa Avançada de Defesa (DARPA - *Defense Advanced Research Projects Agency*) é uma das principais agências americanas, supervisionada pelo Departamento de Defesa (DoE). O objetivo dessa agência é produzir inovações disruptivas para a

área de defesa americana e sua missão é fomentar o desenvolvimento de tecnologias que criem ou previnam surpresas a defesa nacional americana. Os projetos apoiados pela DARPA são caracterizados por sua intensidade, força, foco e prazo, o que garante em um curto espaço de tempo tomar decisões estratégicas de continuidade ou descontinuidade, bem como possibilita assumir riscos tecnológicos altos (SEQUEFF, NEGRI, 2017). A agência utiliza uma estrutura de portfólio de programas, no qual centenas de projetos são fomentados e executados simultaneamente, com vistas a explorar as mais diversas oportunidades e desafios tecnológicos ligados à segurança nacional. Contudo, apenas uma parcela pequena dos projetos chega em sua fase final de execução, já que etapas de acompanhamento avaliam frequentemente o potencial de sucesso do projeto, descontinuando aqueles projetos com menor potencial de sucesso. A instituição exibe um perfil pouco hierarquizado, facilitando que os recursos financeiros sejam utilizados majoritariamente nas atividades finalísticas da instituição. Assim, em 2015, mais de 97% dos recursos orçamentários da instituição foram destinados para pesquisa básica (12%), pesquisa aplicada (39%) e desenvolvimento de componentes e protótipos (41%) (IPEA, 2009, 35).

Um dos pontos sensíveis e apontado como chave para o sucesso da DARPA é a existência de um “gerente de projetos” (*Project manager*), responsável por conduzir o projeto, contratar a equipe, corrigir os rumos das atividades, interagir com os setores correlatos e apresentar os resultados no final do ciclo de vida do projeto. No Brasil, em geral, não é comum a posição de gerente de projetos, cabendo ao pesquisador responsável pelo projeto acumular as funções de pesquisador e gerente de projetos (RAUEN, 2017).

No caso específico de materiais avançados, a DARPA apoia projetos de alto risco tecnológico com foco na área de segurança nacional, porém com alto potencial de disrupção, como nos casos de materiais como corpos negros ideais, no qual não há reflexão de luz, e metamateriais translúcidos ideais, nos quais a refração de luz ocorre total e sem desvio angular, simulando a sensação de invisibilidade. Na estrutura interna da instituição, os escritórios com maior interface com a área de materiais avançados são: (i) o escritório de Ciências de Defesa (DSO), que identifica e busca tecnologias de alto risco e alto retorno, fazendo a ponte entre a ciência básica e as aplicações militares. As áreas de atuação do escritório englobam física, química, matemática e materiais; e (ii) o escritório de Tecnologia de Microsistemas, que atua no desenvolvimento de componentes microeletrônicos compactos, sistemas microeletromecânicos e dispositivos fotônicos

A Figura 6 mostra um organograma aproximado representando o sistema americano de fomento para a área de materiais avançados.

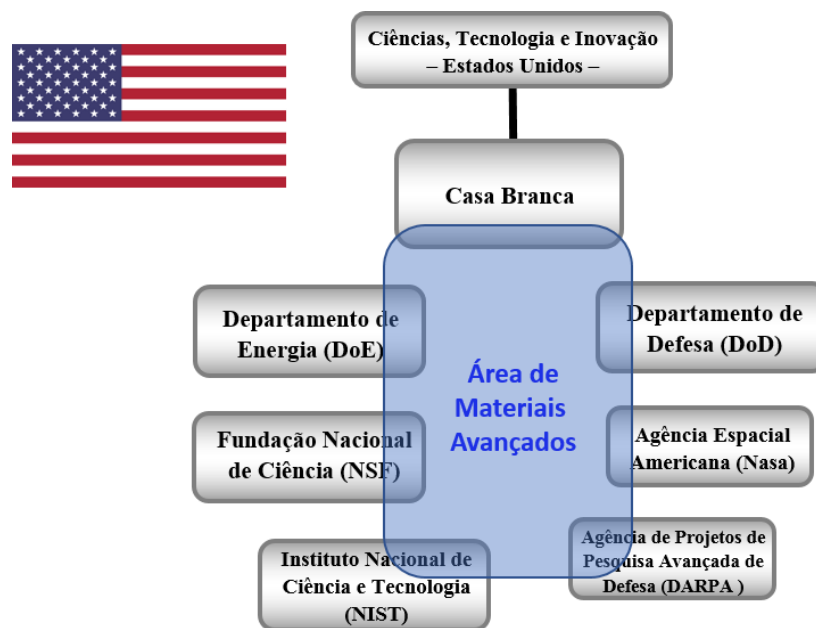


Figura 6. Organograma aproximado do modelo de fomento americano para o campo da ciência, tecnologia e inovação, com reflexos na área de materiais avançados.

4.4 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: ALEMANHA

Ciência, tecnologia e inovação são os principais pilares da economia alemã, responsáveis por reestruturar o país após a segunda guerra mundial, caracterizados por infraestruturas multidisciplinares e de alta tecnologia, cultura social e empresarial alinhada com a inovação, pesquisadores de excelência e linhas de fomento para as diversas etapas do desenvolvimento tecnológico. Esse contexto favorável para C,T&I se estende para a área de materiais avançados.

4.4.1 Ecossistema Alemão de Inovação

De acordo com dados do Banco Mundial (HALLWARD-DRIEMEIER; NAYYAR, 2018), a Alemanha é o quarto maior país em termos de industrialização no mundo, atrás apenas dos EUA, China e Japão, porém, em termos percentuais do PIB, sua dependência com relação ao setor industrial é a maior entre os quatro países, cerca de 23%. Tal dependência estimula a sociedade alemã a buscar constantemente o desenvolvimento do seu sistema de inovação e direcioná-lo para dar suporte e suprir as necessidades do setor privado. No cenário atual, as principais instituições alemãs de pesquisas e inovação são: (i) universidades; (ii) Academia de Ciências; (iii) Sociedade Fraunhofer; (iv) Sociedade Helmholtz; (v) Associação Leibniz; (vi) Instituto Max Planck; (vii) Instituições Federais; (viii)

Instituições Estaduais; (ix) Empresa e Pesquisa Industrial; (x) Federação Alemã de Pesquisa Industrial; (xi) redes e clusters; e (xii) infraestrutura de pesquisa (FEDERAL MINISTRY, 2019).

Especificamente no caso de materiais avançados, o domínio ocorre predominantemente pelas seguintes instituições: (i) Associação Fraunhofer*, grupo de laboratórios orientados por missão e direcionados para suporte ao setor privado; (ii) Federação Alemã de Associações Industriais de Pesquisa, que apoia pesquisas destinadas a atender prioritariamente pequenas e médias empresas; e (iii) Associação Max Plank, grupo de institutos de pesquisa básica, privados sem fins lucrativos, orientados por missão para o setor industrial. Este forte sistema de pesquisa e inovação, aliado a um sistema educacional harmônico com as necessidades da sociedade, garante uma influência menos significativa do Estado e mais direcionada para as necessidades do setor industrial, que, na Alemanha, considera a área de materiais avançados um dos principais eixos para manter a liderança e desenvolver novos conceitos para o setor industrial.

Um dos diferenciais do ecossistema alemão de pesquisa e inovação é sua harmonia com o sistema educacional básico, equivalente ao ensino básico brasileiro, no qual o indivíduo recebe um ensino dual, tanto dedicado à instrução conceitual (disciplinas básicas como linguagens, ciências exatas e cidadania), quando dedicado à educação profissionalizante, no qual são enfatizados atributos e desenvolvidas competências para o mercado de trabalho. Como consequência deste exitoso sistema dual de ensino básico, grande parte da força de trabalho do país exibe, pelo menos, o ensino profissionalizante e há espaço para que o setor privado apresente demandas e necessidades para compor o currículo escolar básico (DESTATIS, 2019).

Um dos conceitos atuais e originários do sistema industrial alemão é o conceito de “Indústria 4.0”, associada a uma quarta revolução industrial, que visa transformar a fábrica tradicional em uma fábrica de produção inteligente, por meio sistemas ciber-físicos, conexão entre máquinas, computação não física (núvem) e outros. Para o sistema industrial alemão, materiais avançados são chaves para o desenvolvimento de fábricas inteligentes, já que podem contribuir com materiais de referência, melhor performance física, multifuncionalidade e outros atributos. Considerando os dois mecanismos mais comuns para orientar o desenvolvimento de novos materiais na Alemanha – orientação pela oferta ou pela demanda – o segundo tipo predomina no ecossistema de inovação, diferentemente do Brasil, no qual predomina a orientação pela oferta.

* A Associação Fraunhofer (em alemão, *Fraunhofer-Gesellschaft*) é uma organização alemã de pesquisa, que conta com 69 institutos espalhados por toda a Alemanha, cada um deles tendo seu foco em um campo diferente da ciência aplicada. Ela emprega mais de 24.500 pessoas, principalmente cientistas e engenheiros, e tem um orçamento anual de pesquisa de cerca de 2,1 bilhões de euros. Cerca de 1/3 do financiamento para a associação é prestado pelo Estado, enquanto cerca de 2/3 do financiamento são adquiridos através de contratos de trabalho com o setor privado.

4.4.2 Planejamento Estratégico e Prospecção de Materiais

Ponderando que há um considerável número de instituições públicas e privadas atuando na área de materiais na Alemanha, houve a necessidade de alinhar estrategicamente sua atuação, com vistas a evitar sobreposição e duplicidade de esforços. Em termos de coordenação de políticas públicas dos institutos e áreas, o Conselho Alemão de Ciência e Fundação Alemão de Pesquisa ocupa posição de destaque. Em termos de planejamento estratégico para a área de materiais, o Ministério Federal de Educação e Pesquisa alemão lançou em 2004 seu principal programa de inovação em materiais, denominado Inovação em Materiais para a Indústria e Sociedade (WING)*. O objetivo central do programa é aumentar a inovação na área de materiais direcionados para a indústria, por meio da pesquisa orientada por missão, bem como potencializar a utilização de materiais para superar os desafios sociais, econômicos e os “grandes desafios alemães” - mobilidade, infraestrutura, saúde e meio ambiente. Espera-se que tais desafios sejam enfrentados por meio do investimento em tecnologias computacionais para materiais, do apoio ao desenvolvimento de novos materiais em pequenas e médias empresas e criando mecanismos para facilitar a transferência de conhecimento da academia para o setor privado. Alguns desafios do processo de transferência de tecnológica e da cadeia “material até o produto” foram apontados pela iniciativa e receberam maior atenção para serem superados, a saber: barreiras para o depósito e concessão de patentes, barreiras de comunicação entre as etapas de desenvolvimento do material, diferença de tempo desejado pela indústria e o tempo para desenvolver novos produtos, falta de recursos para prototipagem e escalonamento, entre outros.

4.4.3 Desenvolvimento Inteligente e Materiais Tradicionais

Dois outros focos que ganharam destaque na análise da estratégia alemã para materiais avançados foram a área de desenvolvimento inteligente/computacional de novos materiais e a necessidade de fomentar materiais tradicionais. No primeiro caso, assim como a iniciativa americana Genoma de Materiais, a Alemanha considera que ferramentas computacionais de modelagem e simulação são primordiais para projetar novos materiais, de forma a garantir a redução de custo, aumento da eficiência e potencial disruptivo do desenvolvimento tecnológico. Já no segundo caso, analisando os principais documentos associados ao WING, fica latente a ênfase que a política pública alemã atribui aos materiais tradicionais, aço, madeira, ferro, plástico e outros, uma vez que os principais processos industriais são majoritariamente dominados por materiais tradicionais e faz-se

* *Werkstoffinnovationen für Industrie Gesellschaft* (WING).

necessário melhorar sua performance, facilitar seu processamento, ampliar sua utilização e baratear seus custos. O investimento na melhoria de performance e custos dos materiais tradicionais consistiu em um ponto de destaque da estratégia alemã para materiais avançados e não foi encontrada em nenhum outro plano internacional, cabendo ressaltar que, grande parte dos materiais utilizados pelas indústrias em geral, são materiais tradicionais, cujas propriedades são bem conhecidas e a cadeia de fornecimento já está estabelecida.

A Figura 7 mostra um organograma aproximado representando o sistema alemão de inovação com sombra sobre a área de materiais avançados.

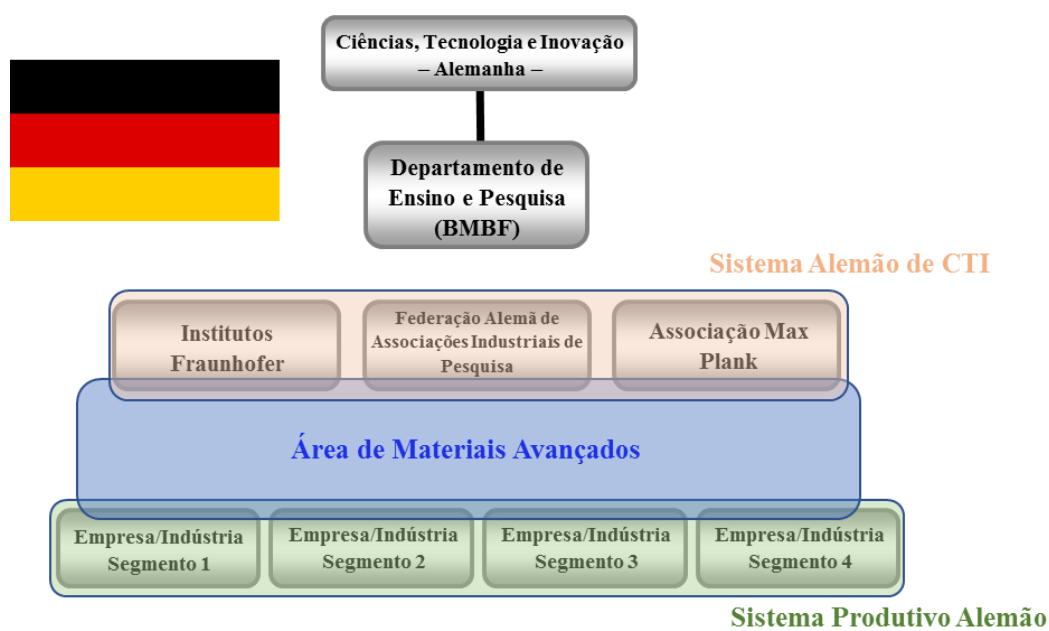


Figura 7. Organograma aproximado do sistema alemão de inovação, com reflexos na área de materiais avançados.

4.5 PROGRAMAS DE MATERIAIS AVANÇADOS: JAPÃO

O Japão é um dos grandes exemplos mundiais de como um país de dimensões geográficas pouco expressivas, com poucos recursos naturais e grande vulnerabilidade meteorológica pode, por meio da ciência, tecnologia e inovação, ser um dos grandes expoentes mundiais em termos de economia e geração de riqueza.

4.5.1 Sistema de Inovação e a Área de Materiais

A maior parte da geração de conhecimento japonês na área de materiais é realizada, assim como no Brasil, pelas universidades. Contudo, outras três instituições exercem papel importante no

desenvolvimento tecnológico japonês em materiais, a saber^{*}: o Instituto Nacional de Ciência Avançada e Tecnologia, a Agência Japonesa de Ciência e Tecnologia e o Instituto Nacional de Ciências dos Materiais. Tais instituições ofertam suporte direto ao sistema produtivo japonês, que está majoritariamente organizado em *clusters* de empresas privadas - seja em *clusters* horizontais, nos quais as diferentes empresas estão organizadas ao redor de um setor econômico, ou em *clusters* verticais, nos quais empresas de menor porte estão vinculadas a uma empresa de maior porte. Ambos arranjos são permeados pela cultura japonesa de mútuo auxílio, incluindo o compartilhamento de custos e o investimento conjunto em desenvolvimento e pesquisa tecnológica. Assim como no Brasil, o governo federal, por meio dos Ministérios[†] da Economia, Negócios e Indústria e da Educação, Ciência, Esporte e Cultura, coordena a maioria das ações nacionais de C,T&I, incluído para a área de matérias, o que tende a concentrar o fomento à pesquisa em universidades e institutos públicos. Contudo, no Brasil, a percepção é que a maior parte das linhas de pesquisas são orientadas pelo interesse institucional e perfil de formação dos pesquisadores, enquanto no Japão as pesquisas são orientadas pela demanda industriais.

Cabe enfatizar que, no caso do Japão, ciência, tecnologia e inovação é crucial para a geração de riqueza, já que o país precisa agregar valor a seus produtos, produzir alimentos para a população - lembrando que o espaço disponível para a produção alimentar é reduzido - e proteger sua população e a infraestrutura estratégica para enfrentar as intempéries típicas daquela região geográfica, pois o país encontra-se em uma região geográfica caracterizada por uma falha geológica conhecida como círculo de fogo do oceano pacífico.

4.5.2 Tecnologias Habilitadoras no Japão

O governo federal japonês, por meio de seus ministérios temáticos, vem dedicando especial atenção às tecnologias habilitadoras, em especial, à nanotecnologia e sua interface com a área de materiais avançados, cabendo registrar que esta é uma ênfase muito semelhante dada pelo governo federal brasileiro à temática. Neste sentido, as ações japonesas visam explorar as potenciais aplicações das tecnologias habilitadoras, oportunidades e necessidades da nanotecnologia, que é uma das três áreas centrais do Instituto Nacional de Ciência dos Materiais japonês. Em adição, o 5º Plano Básico de Ciência e Tecnologia (2016-2020) do Japão, equivalente à nossa Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia, elencou nanotecnologia e materiais como uma de suas quatro áreas prioritárias,

^{*} *National Institute of Advanced Science and Technology (AIST), Japan Science and Technology Agency (JST) e National Institute for Materials Science (NIMS).*

[†] *Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) e Ministry of Education, Science, Sport and Culture (MEXT).*

juntamente com a análise de grandes conjuntos de dados armazenados (*big data*), biotecnologia e inteligência artificial. Assim como no Brasil, no Japão considera-se que as áreas de nanotecnologia e de materiais guardam estreita relação epistemológica e que elas ganham especial dimensão econômico-tecnológica quando associada à manufatura e às tecnologias de informação e comunicação.

4.5.3 Coordenação Estratégica da Área de Materiais

Como um dos grandes diferenciais do sistema japonês de inovação, ações de monitoramento internacional de tendências, programas e atividades de pesquisa e desenvolvimento, incluindo na área de materiais avançados, são mais enfatizadas no Japão que nos demais países analisados. Tal prática é fomentada no país para as mais diversas áreas e pode ser evidenciada pela quantidade de artigos de revisão da literatura publicados por autores japoneses, bem como é de fácil associação ao perfil da cultura oriental de sistematização das atividades. Associado às ações de monitoramento, os gestores de C,T&I japoneses desenvolvem Roteiros (*roadmap*) Tecnológico Estratégicos (STR - *Strategic Technology Roadmap*), em geral com três níveis de ações/atividades, para direcionar os esforços de pesquisa das instituições governamentais e potencializar os resultados esperados inicialmente pelos gestores. Ainda na linha de gestão da C,T&I, o Instituto Nacional de Políticas em Ciência e Tecnologia (NISTEP) conduz rotineiramente estudos de prospecção para compreender quais tipos de tecnologia tendem a ser mais demandas no futuro próximo, quais serão os desafios globais e quais os caminhos que as políticas globais de C&T tendem a tomar. Cabe mencionar que tais instrumentos de coordenação estratégica de C,T&I e, por consequência, de materiais avançados, potencializam a obtenção de resultados e permitem fazer a gestão de riscos/sucesso quanto ao desenvolvimento de uma determinada tecnologia ou área.

4.5.4 Materiais Críticos e Desenvolvimento Inteligente de Materiais

Assim como os Estados Unidos, o Japão também considera os materiais críticos - aqueles materiais escassos na natureza e que são chaves para determinadas tecnologias - como área prioritária da política nacional para materiais avançados, com foco na reutilização destes materiais, na busca por substitutos tecnologicamente viáveis e por novas fontes deste material no mundo. De forma similar aos Estados Unidos e Alemanha, bem como devido à vocação tradicional do Japão quanto às tecnologias digitais, o país também concentra esforços para a utilização de tecnologias

computacionais de simulação e modelagem para a descoberta inteligente de novos materiais, suas propriedades e forma de reduzir o custo e o tempo de desenvolvimento de novos produtos.

A Figura 8 mostra um organograma aproximado do sistema japonês de inovação com sombra sobre a área de materiais avançados.

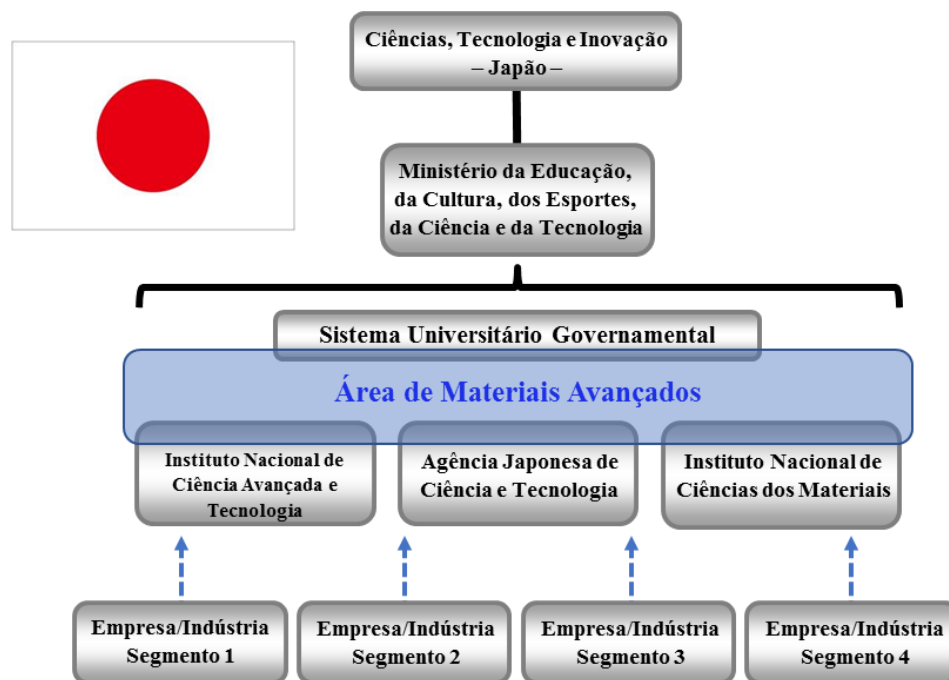


Figura 8. Organograma aproximado do sistema japonês de inovação com reflexos na área de materiais avançados.

5. PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E A REALIDADE BRASILEIRA

Com base nos principais documentos relacionados à temática Materiais Avançados e com o histórico de fomento à C,T&I de cada país/conjunto de países, representado principalmente por sua relevância internacional e investimento em C,T&I, a seguir, encontra-se um resumo das principais características e tendências de cada programa apresentado no capítulo anterior.

5.1 Principais Tendências dos Programas Internacionais

As principais tendências identificadas pelo autor para cada país/conjunto de países foram:

União Europeia: (i) Forte cooperação internacional para promover o desenvolvimento científico e tecnológico; (ii) Estímulo à internacionalização dos projetos de pesquisa e formação de recursos humanos, envolvendo equipes internacionais e forte intercâmbio de pesquisadores; (iii) não

priorização de classes ou aplicações para materiais avançados; e (iv) estímulo ao fortalecimento e envolvimento de micro e pequenas empresas de base tecnológica.

BRICS: (i) Forte cooperação internacional para promoção do desenvolvimento científico e tecnológico e a formação de recursos humanos; (ii) nanomateriais, materiais para energia, materiais magnéticos e materiais para biotecnologia e saúde como áreas prioritárias; e (iii) fomento a infraestruturas de pesquisa singulares e compartilhamento das mesmas.

Estados Unidos: (i) Descentralização da estratégia americana para materiais avançados, por meio de agências, departamentos e fundações da estratégia americana para materiais avançados; (ii) considerando o percentual investido pelo país em C,T&I, as áreas de defesa, saúde, energia, nanomateriais e indústria avançada foram interpretadas como áreas prioritárias; (iii) a identificação de materiais como um dos pilares fundamentais da revitalização da indústria nacional; e (vi) a implementação de uma ação nacional para utilizar ferramentas computacionais para acelerar o desenvolvimento de materiais.

Alemanha: (i) Excelência das instituições nacionais associadas ao desenvolvimento científico e tecnológico de materiais avançados; (ii) orientação predominante industrial para o desenvolvimento da indústria e atenção às pequenas e médias empresas de base tecnológica; e (iii) ênfase ao desenvolvimento de novos materiais utilizando ferramentas computacionais de simulação e modelagem.

Japão: (i) concentração das atividades de pesquisa e desenvolvimento de materiais avançados em instituições públicas de pesquisa, em especial, universidades; (ii) orientação da pesquisa pública pelas demandas e necessidades do setor produtivo; (iii) áreas de tecnologias convergentes como prioritárias, em especial, a convergência entre nanotecnologia, materiais avançados e manufatura avançada; (iv) alto grau de coordenação estratégica por parte dos órgãos federais, associados a rotineiras atividades de prospecção internacional; e (v) ênfase ao desenvolvimento de novos materiais utilizando ferramentas computacionais de simulação e modelagem.

A Tabela 2 lista as principais características e tendências identificadas nos programas e documentos internacionais públicos de ciência, tecnologia e inovação na área de materiais avançados dos países estudados.

Trabalho de Conclusão de Curso: Principais Políticas Públicas na área de Materiais Avançados

Tabela 2. Lista das principais características e tendências identificadas nos programas e documentos internacionais públicos de ciência, tecnologia e inovação na área de materiais avançados referentes a União Europeia, BRICS, Estados Unidos, Alemanha e Japão.

País/Conjunto de Países	Cooperação Internacional	Formação de Recursos Humanos	Apoio ao Setor Privado	Fomento à C&T	Áreas Prioritárias	Outras Características
União Europeia	- Forte cooperação internacional para promover o desenvolvimento científico e tecnológico da UE.	Estímulo à formação de recursos humanos em áreas estratégicas.	- Estímulo ao fortalecimento de micro e pequenas empresas de base tecnológica.	- Principalmente via grandes projetos europeus.	- Não priorização de classes ou aplicações para materiais avançados.	- Fomento à disponibilização de plantas piloto para testes
BRICS	Forte cooperação internacional para promoção do desenvolvimento científico e tecnológico.	-	-	- Editais conjuntos de fomento para diversas áreas, inclusive Materiais Avançados	- Nanomateriais, materiais para energia, materiais magnéticos e materiais para biotecnologia e saúde.	- Fomento à infraestruturas de pesquisa singulares.
Estados Unidos	-	-	- Materiais como pilar para a revitalização da indústria nacional.	- Descentralização do fomento à P&D em materiais avançados.	- Defesa, saúde, energia, nanomateriais e indústria avançada.	- Ação nacional para unir materiais e ferramentas computacionais para acelerar o P&D.
Alemanha	-	-	- Materiais desenvolvidos de acordo com as necessidades industriais.	- Elevado investimento em C&T orientado e em pesquisa de excelência.	-	- Esforço nacional acelerar o desenvolvimento de matérias utilizando ferramentas computacionais.
Japão	-	-	- As atividades de pesquisa são naturalmente orientadas pela demanda do setor privado e industrial.	- Fomento à instituições públicas de pesquisa, em especial, universidades.	- Convergência entre a nanotecnologia, materiais avançados e manufatura.	- Vocação natural a utilizar tecnologias digitais no desenvolvimento de novos materiais.

Fonte: Próprio autor.

5.2 Aderência das Tendências Internacionais à Realidade Brasileira

As Políticas Públicas internacionais são idealizadas levando em consideração a realidade de cada país, suas vocações locais, forças e fraquezas internas, estratégia geopolítica, objetivos nacionais, entre outros fatores. Como consequência, faz-se necessário analisar as principais tendências internacionais considerando a realidade nacional. A seguir, apresentam-se as principais tendências internacionais para a área de Materiais Avançados e sua adequação à realidade do Brasil.

1º Tendência Internacional: Interação entre a Academia e o Setor Privado

Contexto: Ações de estímulo à interação entre o setor privado e as instituições de ciência e tecnologia, com vistas a promover a inovação tecnológica é tema recorrente em praticamente todos os planos internacionais para materiais avançados, sendo inclusive predominante para os planos dos Estados Unidos e Alemanha. Considerando que a área de materiais é transversal e multidisciplinar, é de fácil desprendimento sua potencialidade de agregar valor a produtos existentes, bem como produtos de alto valor agregado, tais como, novos princípios ativos para o tratamento de doenças ou para novas fontes de energia renovável. No caso específico da Alemanha, onde 30% do seu PIB é proveniente das atividades industriais, as necessidades do setor privado orientam fortemente o desenvolvimento de tecnologias e as demandas por novos materiais ou aperfeiçoamento dos materiais já existentes. Já para os Estados Unidos, a área de materiais avançados é um dos quatro principais pilares para o Plano de revitalização da indústria americana, por ser uma temática habilitadora para os demais pilares do plano americano.

Aderência à Realidade Nacional: O Brasil, uma das principais economias emergentes, vem passando nos últimos 30 anos por um processo acelerado de desindustrialização. Nas décadas de 80 e 90 o setor industrial representava 35% da produção nacional e em 2012 representou 13,3% (SEQUEFF, NEGRI, 2017). Esse processo de desindustrialização tem impacto negativo sobre a capacidade de crescimento de longo prazo, reduzindo a geração de retornos, desacelerando o ritmo de progresso técnico-científico, aumentando a dependência da extração de recursos naturais, exportação de *commodities* e aumentando a dependência externa.

2º Tendência Internacional: Recursos Humanos Especializados

Contexto: Analisando os planos internacionais para materiais avançados nos países selecionados não se observa ênfase especial para a temática recursos humanos, sugerindo que a forma atual de formação de recursos humanos nesses países já supre majoritariamente as necessidades locais por mão de obra qualificada ou simplesmente que o tema já esteja pensado como parte naturalmente integrante da política nacional de ensino formal. Como é de domínio público, várias universidades

americanas, japonesas e alemãs figuram entre as mais bem ranqueadas universidades do mundo e nesses países o ensino tecnológico já está mais consolidado.

Aderência à Realidade Nacional: Já no caso nacional, o Brasil vem ampliando seus investimentos em ensino superior e pós-graduação na área nos últimos anos. Especificamente para a área de materiais, o Brasil conta com 66 cursos de graduação e 36 cursos de pós-graduação (Mestrado e Doutorado), ofertando mais de 7,5 mil vagas entre graduação e pós-graduação (ver item 2.4). No entanto, tais quantitativos ainda são pequenos em termos relativos, tendo como base o número de grupos de pesquisa na área de materiais, apenas 0,2% do total de grupos de pesquisa. Em geral, tais profissionais têm sido absorvidos pela área tecnológico-científica e pelo setor produtivo empresarial devido à qualidade e multidisciplinaridade da sua formação.

3º Tendência Internacional: Utilização de Tecnologias Digitais

Contexto: Considerando a evolução rápida e disruptiva das tecnologias digitais observada pela sociedade nos últimos anos, que envolve a consolidação de áreas tradicionais da informática, como o processamento de dados (computação de alta performance, HPC – *Computação de Alta Performance*) e a digitalização da informação (armazenamento e processamento de informações em nuvem – *big data*), bem como o surgimento de novos campos associados à tecnologia da informação e comunicação, tais como a internet das coisas (IoT - *Internet of Things*) e aprendizado de máquinas (*Machine Learning*), Estados Unidos, Japão e Alemanha estruturam ações específicas para a utilização de tecnologias digitais, objetivando acelerar e reduzir os custos associados ao desenvolvimento tecnológico na área de materiais avançados. No caso específico dos Estados Unidos foi elaborada uma Iniciativa específica para o tema, denominada Genoma de Materiais (*Materials Genome Initiative*), com a expectativa de desenvolver novos materiais duas vezes mais rápido do que se faz atualmente.

Aderência à Realidade Nacional: O Brasil tem envidado esforços nas últimas décadas para estruturar e consolidar seu Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI), o que inclui Institutos de Pesquisa e Universidades com sólido conhecimento na área de materiais e tecnologias digitais. Especial destaque deve ser dado à criação em 1980 do Laboratório Nacional de Computação Científica (LNCC-MCTIC), Instituto de Pesquisa vinculado ao MCTIC, especializado em computação científica e de alto desempenho. Recentemente foi lançado no LNCC o Super Computador Santos Dumont, com capacidade de processamento igual a 1,0 Teraflop/s e classificado em os 500 computadores de melhor qualidade do mundo.

4º Tendência Internacional: Cooperação Internacional

Contexto: Entre as principais tendências internacionais na área de Materiais Avançados, destaca-se que a área de cooperação internacional foi enfatizada nos Plano Nacionais da União

Europeia e do BRICS. Historicamente, a União Europeia tem intrínseca tradição de mútua cooperação, um dos motivos pelo qual os países estão agrupados em um bloco, e esta característica se estende à busca de cooperação e desenvolvimento comum com parceiros internacionais. Já no caso do BRICS, o bloco de países tem em sua concepção a cooperação internacional como atividade prioritária, imbuída de um esforço natural de desenvolvimento conjunto. No caso dos outros países estudados, como possível sugestão de entendimento do contexto, compreende-se como natural a menor ênfase a temática de cooperação internacional, uma vez que as atividades realizadas internamente já poderiam ser consideradas adequadas para o desenvolvimento interno da temática.

Aderência à Realidade Nacional: Com relação à pertinência da cooperação internacional para a área de materiais avançados no Brasil, cabe enfatizar que o tema cooperação internacional é de suma importância para o desenvolvimento nacional, uma vez que permite: (i) a inserção da pesquisa nacional no âmbito internacional; (ii) acelera o desenvolvimento de sub-áreas de pesquisa no país; (iii) facilita o intercâmbio de pesquisa e de conhecimento; (iv) consolida o acesso nacional a infraestruturas singulares no exterior; (v) estimula a internacionalização das empresas nacionais de base tecnológica; e outros.

5º Tendência Internacional: Áreas Portadoras de Futuro

Contexto: Quando uma nação estrutura políticas de médio e longo prazo para uma determinada área, busca identificar temáticas com potencial diferenciado de agregação de valor tecnológico no futuro, bem como almeja alcançar liderança tecnológica em temas disruptivos capazes de provocar uma ruptura dos padrões, propriedades e desempenho já estabelecidos no mercado. Neste sentido, analisando as tendências internacionais para a área de materiais avançados dos países selecionados, as áreas mais recorrentes apontadas como portadoras de futuro foram: (i) materiais para defesa, energia e indústria avançada; (ii) materiais magnéticos; (iii) Nanomateriais; (iv) materiais para biotecnologia e saúde; e (v) Convergência entre a nanotecnologia, materiais avançados e manufatura. Cabe mencionar que os novos materiais provenientes da biodiversidade de seus países foram pouco recorrentes, muito provavelmente pela baixa biodiversidade comparada com o Brasil.

Aderência à Realidade Nacional: Considerando os 12 temas estratégicos contidos na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022), que refletem a priorização nacional para C,T&I, bem como sua interface com os temas identificados nos planos internacionais para materiais avançados, é possível sugerir que há uma considerável coincidência entre os temas. Um ponto de destaque na identificação dos materiais portadores de futuro é o fato de enfatizar-se em especial a solução de um determinado problema em detrimento do desenvolvimento do material *per se*.

5.3 Oportunidades e Desafios Brasileiros e a Área de Materiais Avançados

Considerando as diferenças naturais existentes entre os países analisados, provenientes de fatores históricos, geográficos, populacionais e econômicos, é salutar observar as potencialidades e desafios nacionais, objetivando que tais potencialidades e desafios sejam, respectivamente, exploradas e superados. Cabe registrar que as potencialidades nacionais como, por exemplo, a extensão territorial e o acesso a recursos naturais, e desafios nacionais, tais como, a superação da desigualdade social e a baixa oferta de infraestrutura de qualidade, são geralmente semelhantes aos dos países investigados, contudo, em menor ou maior intensidade.

A seguir, explora-se como a área de materiais avançados pode contribuir para aproveitar uma oportunidade ou vantagem competitiva brasileira e superar um dos principais desafios nacionais.

1º Oportunidade Nacional: Utilização da Biodiversidade

Contexto: Considerando que o Brasil é um país de dimensões territoriais continentais e, conseqüentemente, exibe diversos ecossistemas, há uma grande variedade ecológica no país, refletida na forma de distintos biomas. A variedade de biomas proporciona ao Brasil uma enorme e única variedade de flora e fauna, transformando o país em abrigo da maior biodiversidade do planeta. Esta abundante variedade de vida – que se traduz em mais de 20% do número total de espécies da Terra – eleva o Brasil ao posto de principal nação entre os 17 países “megadiversos” (ou de maior biodiversidade) (MMA, 2018).

Utilização da Biodiversidade na Área de Materiais Avançados: A biodiversidade nacional é uma grande vantagem competitiva para o país, uma vez que poucos países no mundo exibem biodiversidade semelhante à brasileira e há um diferenciado potencial de descoberta de novos materiais oriundos da fauna e flora nacional. Atualmente, não há política pública nacional para explorar essa biodiversidade do ponto de vista da descoberta de novos materiais e propriedades, caracterizando assim uma vantagem competitiva a ser explorada.

2º Oportunidade Nacional: Utilização das Reservas Nacionais de Minérios Especiais

Contexto: Um exemplo importante sobre o potencial de utilização de material mundialmente estratégico, abundante no Brasil e escasso em outros países, é o exemplo das terras raras (LIRA, 2017). Os metais de terras raras, inclusive chamados de “ouro do século XXI”, são materiais que se destacam pela sua raridade e elevado valor econômico, que servem de matéria-prima essencial para itens de alta tecnologia. Entre as características de maior destaque estão: a condução diferenciada de calor e eletricidade, características fosforescentes e fluorescentes, aumento da flexibilidade, resistência ao impacto e maior durabilidade, além do fato de se tratarem de estruturas altamente magnetizáveis. O mercado de terras raras no mundo é particularmente influenciado/controlado pela

China, que responde pelo fornecimento de 97% desse material para o mundo e, conseqüentemente, regula sua produção e preço. Atualmente, o Brasil não lava e não produz expressivamente compostos de terras raras, sendo majoritariamente dependente de importação da China. Cabe registrar que uma das principais desvantagens da cadeia produtiva das terras raras é o potencial de impacto ambiental resultante da sua extração.

Utilização das Reservas Minerais na Área de Materiais Avançados: O Brasil possui consideráveis reservas destes materiais, bem como capacidade tecnológica para explorar e produzir compósitos de terras raras. Tal posição proporciona ao país condição Geopolítica de destaque mundial, uma vez que o país possui consideráveis jazidas e inúmeros países desenvolvidos no mundo buscam a redução da dependência de terras raras provenientes da China. Diante deste contexto, em havendo uma instância estratégica para articulação da área, oportunidades como a das terras raras, nióbio, grafeno e outros materiais importantes, pouco abundantes no mundo e disponíveis no Brasil, poderiam ser pensadas, discutidas, avaliadas e, se conveniente e oportuno, melhor aproveitadas para o país.

3º Desafio Nacional: Superação dos Problemas Sociais

Contexto: Problemas sociais tais como alto percentual da população abaixo da linha da pobreza, baixo acesso a água potável, subnutrição, acesso limitado a saúde, saneamento básico inadequado, entre outros, são obstáculos a serem superados por qualquer nação em desenvolvimento, bem como compõem direitos garantidos pela constituição nacional, reduzem significativamente a produtividade da força de trabalho e a capacidade de geração de riqueza do país. Apesar de ciência e tecnologia, em particular, os materiais avançados, serem catalizadores de soluções tecnológicas para os problemas sociais mencionados, como esperado, tais pontos são citados apenas superficialmente como motivações nos planos internacionais dos países investigados, uma vez que tais problemas sociais não são problemas latentes para esses países. Infelizmente, esses problemas ainda assolam a sociedade brasileira e sua superação deveria ser um dos focos de toda política pública nacional, bem como um dos impactos esperados da aplicação de conhecimentos e tecnologias gerados no âmbito dessas políticas.

Utilização de Materiais Avançados para Remediação dos Problemas Sociais: A área de materiais avançados, por ser multidisciplinar e transversal, exhibe potencial para agregar valor, reduzir custo e massificar soluções tecnológicas para os problemas sociais citados. Considerando que tais problemas atingem uma fração economicamente vulnerável da sociedade e, por conseqüência, são problemas pouco rentáveis para que o setor privado demonstre maior interesse, cabe ao Estado, como garantidor constitucional do bem-estar social, incluir em suas políticas públicas condições mínimas para os superar. Como exemplos ilustrativos, (i) utilizando materiais com porosidade adequada,

proveniente da biomassa, é possível projetar filtros bioativos capazes de filtrar as impurezas da água, bem como reduzir os agentes biológicos (patógenos) contaminantes nocivos ao ser humano, como o caso da bactéria *Escherichia coli*, responsável por grande prevalência associada às doenças diarreicas; e (ii) utilizando materiais avançados destinados à construção civil como, por exemplo, cimentos e blocos reforçados com nanomateriais é possível aumentar a resistência mecânica, durabilidade e reduzir consideravelmente os custos.

6. SUGESTÕES FINAIS

Com base na análise das principais tendências internacionais para a área de Materiais Avançados e de sua aderência à realidade nacional, bem como nas oportunidades e desafios atuais do Brasil, apresentamos, a seguir, o que consideramos como principais sugestões para a formulação de Políticas Públicas na área de Ciência, Tecnologia e Inovação nacional.

Interação entre a Academia e o Setor Privado: Diante deste cenário de vulnerabilidade macroeconômica nacional, considerando que a área de materiais avançados é transversal e capaz de agregar valor às tecnologias nacionais e observando a experiência internacional de orientação da área a partir das demandas do setor privado e a ciência e tecnologia, às ações públicas nacionais na área de materiais avançados precisam gerar base sólida de conhecimento, ser capaz de subsidiar e estar alinhada com as necessidades do setor privado, bem como favorecer o surgimento de empreendimentos inovadores de base tecnológica.

Recursos Humanos Especializados: Os principais pontos a serem enfatizados estão associados a: (i) a necessidade de elevar o quantitativo percentual da nossa sociedade com nível superior, o que se estende a área de materiais; (ii) o estímulo, à capacitação e à criação de condições favoráveis para o empreendedorismo de base tecnológica, visando a criação de novas empresas nacionais com viés tecnológico (*start-up*); e (iii) a criação de ambiente favorável para a incorporação de mestres e doutores junto as empresas nacionais com vocação tecnológica, visando agregar valor aos processos da empresa, desenvolver novos produtos e transferir conhecimento tecnológico para o setor privado.

Tecnologias Digitais para Acelerar o Desenvolvimento Tecnológico: Considerando a evolução rápida e disruptiva das tecnologias digitais observada pela sociedade nos últimos anos (computação de alta performance, *big data*, internet das coisas, *machine learning* e outras), vislumbra-se a oportunidade de estruturar ações específicas para a utilização de tecnologias digitais para acelerar, reduzir os custos e riscos associados ao desenvolvimento tecnológico na área de

materiais avançados, bem como temos a vantagem de já possuir os elementos individuais necessários para o avanço desta temática no Brasil (comunidade de materiais avançados e de computação científica e infraestrutura inicial disponível).

Cooperação Internacional: Trata-se de eixo estruturante estratégico a ser considerado para a formulação de Planos Nacionais para a área de Materiais Avançados por exibir especial potencial para acelerar o desenvolvimento tecnológico nacional nas áreas de interesse, promover o intercâmbio de conhecimento e práticas inovadoras, internacionalizar os resultados nacionais e, em especial, por abrir a oportunidade das empresas nacionais de base tecnológica acessarem novos mercados e serem idealizadas para o mercado internacional.

Áreas Portadoras de Futuro: Considerando os temas identificados nos planos internacionais para materiais avançados e seu alinhamento com os temas estratégicos contidos na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI 2016-2022), as principais campos de destaque são: (i) aeroespacial e defesa; (ii) energia; (iii) saúde e biotecnologia; e (iv) nanotecnologia e nanomateriais. Cabe enfatizar que há oportunidades em campos emergentes para materiais avançados, tais como, metamateriais, materiais de alta entropia, materiais multifuncionais, materiais com capacidade de auto regeneração, materiais para diagnóstico e terapia direcionada, entre outras.

Biodiversidade Nacional: O Brasil é um país de dimensões territoriais continentais e biodiversidade (flora, fauna e biomas) única no mundo, abrigando 20% do número total de espécies da Terra. A biodiversidade nacional é uma grande vantagem competitiva para o país, ainda pouco explorada, e exibe potencial único para a descoberta de novos materiais e suas propriedades. Atualmente, não há política pública nacional para explorar a biodiversidade nacional, do ponto de vista da descoberta de novos materiais e propriedades.

Recursos Minerai s Estratégicos: O Brasil tem grande parte da sua balança comercial associada à exportação de matéria prima de origem mineral com baixa agregação de valor, bem como possui grande parte das reservas mundiais de diversos minerais estratégicos. Logo, faz-se necessário a proposição de programas e políticas para agregar valor às exportações de recursos minerais e explorar estrategicamente as reservas de minerais estratégicos como o nióbio, terras raras, derivados do carbono (grafeno, fulerenos e nanotubos de carbono), entre outros.

Superação dos Problemas Sociais no Brasil: Problemas sociais tais como pobreza, baixo acesso a água potável, subnutrição, acesso limitado a saúde, saneamento básico inadequado, entre outros, são obstáculos a serem superados no Brasil, cabendo ao Estado prover políticas públicas mínimas para superá-los. A área de materiais avançados, por ser multidisciplinar e transversal, exibe potencial para agregar valor, reduzir custo e massificar soluções tecnológicas para os problemas

sociais como, por exemplo, de filtros bioativos, material alimentício rico em nutrientes, sistemas tecnológicos para tratamento de águas residuais (esgoto) e outros.

Como perspectiva para trabalhos futuros:

a) Considerando as principais tendências mundiais para a área de Materiais Avançados e sua pertinência à realidade nacional, sugere-se incorporar as sugestões acima o como orientações ao Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação em Tecnologias Convergentes e Habilitadoras, área de Materiais Avançados;

b) Considerando o ciclo de vida da Política Pública (prospecção, elaboração, execução e avaliação), elaborar uma proposta de Plano/Programa Nacional para Materiais Avançados capaz de alavancar o setor industrial correlato, promover a inovação e o desenvolvimento econômico;

c) Difundir os principais resultados do trabalho junto aos representantes da tripla hélice da inovação (academia, setor privado e governo), visando a incorporação dos resultados junto a suas agendas de trabalho;

d) Manter o monitoramento constante das novas contribuições científicas e das novas demandas do setor privado para a área de materiais avançados, com vistas a atualizar a pertinência das considerações e sugestões realizadas aos gestores de ciência, tecnologia e inovação; e

e) Elaborar uma agenda de acompanhamento e avaliação das principais ações nacionais na área de materiais avançadas, visando monitorar a eficácia, eficiência e efetividade das ações e evolução da área.

7. REFERÊNCIAS

BARRELLA, A. R. **O Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico-PADCT: um exercício de análise de política.** 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, SP: [s.n.], 1998.

BELLUCCI, F. S. **Preparação e caracterização de nanocompósitos multifuncionais obtidos com nanopartículas ferroelétricas e paramagnéticas em filmes de borracha natural.** Faculdade de Ciência e Tecnologia, UNESP, 2013.

BLAND, S. Senior Publisher and Editor of Materials Today. Data derived from Scopus. Documento: Advanced Materials and Applications: Tackling New R&D and Engineering Challenges. Elsevier, 2014.

BLUE MINING. **International European consortium on various maritime fields of expertise.** Disponível em: <<http://www.bluemining.eu/>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

BRAZIL. BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul. Ministério das Relações Exteriores do Brasil. Disponível em: <<http://www.itamaraty.gov.br/pt-BR/politica-externa/mecanismos-inter-regionais/3672-brics>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

BRAZIL. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO-MEC. Cadastro e-MEC de Instituições e Cursos de Educação Superior, base de dados oficial e única de informações relativas às Instituições de Educação Superior – IES e cursos de graduação do Sistema Federal de Ensino. Disponível em: <<http://www.emec.mec.gov.br>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE), MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Materiais avançados no Brasil 2010-2022**. Brasília, p. 360, 2010.

CONSELHO NACIONAL DAS FUNDAÇÕES ESTADUAIS DE AMPARO À PESQUISA. **Resultados e Impactos do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia**. São Luiz, 2016. Disponível em: <<http://confap.org.br/news/wp-content/uploads/2016/06/panorama-INCT-CONFAP-Maranhão-1.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2018.

CORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. **Documento de Área: Materiais**. Disponível em: <<http://www.capes.gov.br/component/content/article/44-avaliacao/4676-materiais>>. Acesso em: 22 ago. 2017.

DEFENCE ADVANCED RESEARCH PROJECTS AGENCY. **Materials Development for Platforms (MDP)**. Disponível em: <<https://www.darpa.mil/program/materials-development-for-platforms>>. Acesso em: 02 abr. 2018.

Departamento Federal de Estatísticas da Alemanha (*Federal Statistical Office of Germany – Destatis*). Disponível em: <<https://www.destatis.de/EN/Homepage.html>>. Acesso em: 06 jan. 2019.

DIOGO, M. C. M. **Pesquisa e desenvolvimento de materiais avançados no Brasil: uma avaliação de projetos RHAE**. Campinas, SP: [s.n.], 1998.

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Diretório de Grupos de Pesquisa. Disponível em: <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp>>. Acesso em: 24 jan. 2018.

ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. **Programa de Especialização em Gestão de Políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Disponível em: <<https://suap.enap.gov.br/portal/curso/4/>>. Acesso em: 24 ago. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. **Technology and market perspective for future Value Added Materials**. Final Report from Oxford Research AS, 2012.

GEORGHIOU, L. (2015). ‘Value of Research’, Policy Paper by the Research, Innovation, and Science Policy Experts (RISE), EUR 27367 EN.

GOVERNO FEDERAL, M. Charter of the BRICS Network Centre for Materials Science and Nanotechnology (2016). Processo SEI n° 01200.706252/2016-28.

H2020 FET projects for technologies with new materials. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/h2020-fet-projects-technologies-new-materials>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. H2020 FET projects in nanotechnologies. Disponível em: <<http://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/h2020-fet-projects-nanotechnologies>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

HALLWARD-DRIEMEIER, M.; NAYYAR, G. (2018). Trouble in the Making? The Future of Manufacturing-Led Development. Disponível em: <<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1174-6>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

EUROPEAN COMMISSION. HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015. Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/main/h2020-wp1415-leit-nmp_en.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2016-2017. Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-leit-nmp_en.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

EUROPEAN COMMISSION. HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2018-2020. Disponível em: <http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2018-2020/main/h2020-wp1820-leit-nmp_en.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Conditions For Innovation In Brazil: A Review Of Key Issues And Policy Challenges.** Discussion Paper 218, Ipea, 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Discussion Paper: Technological Learning Systems, Competitiveness and Development.** Discussion Paper, Ipea, 2014.

INSTITUTOS NACIONAIS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Disponível em: <<http://inct.cnpq.br/>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

IPEA. (2009). **Radar: tecnologia, produção e comércio exterior**, N° 36, pág. 35. Brasília-DF: Diretoria de Estudos e Políticas Setoriais de Inovação, Regulação e Infraestrutura.

KHANNA, S. **Nanotechnology in High Performance Paint Coatings.** Asian Journal of Experimental Science, 21(2), p. 25–32, 2008.

LASTRES, H. M. M.; CASSIOLATO, J. E. Contribuição do PADCT para a Melhoria das Condições de Competitividade da Indústria Brasileira. Livro, Ministério da Ciência e Tecnologia, 1995.

LIRA, J. C. L. **Terra Rara.** Disponível em: <<https://www.infoescola.com/elementos-quimicos/terra-rara/>>. Acesso em: 23 set. 2018.

Materials Roadmap Enabling Low Carbon Energy Technologies. Commission Staff Working Paper, 2011. Disponível em: <https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/materials-roadmap-elcet-13122011_en.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2019.

Metamaterials Market Analysis, By Product (Electromagnetic, Terahertz, Photonic, Tunable, Frequency Selective Surface, Non-linear). Metamaterials Market Analysis and Segment Forecasts to 2025. **Grand View Research**, Inc., USA. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2016-2022 (ENCTI)**. p. 131, 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Relatório de Atividades do Instituto Nacional de Propriedade Industrial 2017**. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), p. 56, 2018.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Biodiversidade Brasileira. MMA, 2018. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

NSET. (2011). National Nanotechnology Initiative Strategic Plan, 2011. Nanoscale Science, Engineering and Technology Subcommittee, Committee on Technology, National Science and Technology Council, Washington, DC., 2012(October 1). Disponível em: <http://www.nano.gov/sites/default/files/pub_resource/2011_strategic_plan.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2019.

Office of the President National Science, E., & Council, T. (2012). A National Strategic Plan For Advanced Manufacturing. Disponível em: <https://energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/nstc_feb2012.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2019.

Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Adult Education Level (2017). Disponível em: <<https://data.oecd.org/eduatt/adult-education-level.htm#indicator-chart>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

Página principal do Programa Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão (CEPID) da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP). Disponível em: <<http://cepid.fapesp.br/home/>>. Acesso em: 07 dez. 2017.

PORTAL SJR. **Scimago Journal and Country Rank**. Disponível em: <<https://www.scimagojr.com/>>. Acesso em: 27 dez. 2018.

Programa FAPESP Centros de Pesquisa, Inovação e Difusão CEPID. Publicado pela FAPESP em 2013, 32p. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/cepid/cepid.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Programa Horizon 2020 em Breves Palavras: O Programa-Quadro de investigação e inovação da UE. Comissão Europeia, Direção-Geral da Investigação e da Inovação, 2014.

RAUEN, A. T. (2017). Políticas de inovação pelo lado da demanda no Brasil. (Ipea, Ed.). Capítulo 9, pag. 376. Brasília-DF.

Research in Germany, Federal Ministry of Education and Research. Disponível em: <<http://www.research-in-germany.org/en/research-funding.html>>. Acesso em: 06 jan. 2019.

Research Road Mapping in Materials. Directorate-General for Research, G3 Added-value Materials, 2010. Disponível em: https://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/research-road-mapping-in-materials_en.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2019.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico:** Uma investigação sobre lucros, Capital, crédito, juro e o Ciclo econômico. Tradução de Maria Sílvia Possas. Editora Nova Cultural Ltda, 1997.

Seminários de Acompanhamento e Avaliação do Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs). (2010). In Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Brasília-DF.

SEQUEFF, F. de H. S.; NEGRI, F. de. (2017). **Ciência e Tecnologia de Impacto:** Uma Análise do Caso DARPA. Políticas de Inovação Pelo Lado Da Demanda No Brasil, 481. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/politicas_de_inovacao_cap10.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias (SisNANO) (2019), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/incentivo_desenvolvimento/sisnano/sisnano.html>. Acesso em: 11 fev. 2018.

SOUZA-PAULA, M. C. (2012). Ação de acompanhamento e avaliação do programa INCT. Disponível em: <<http://redebrasileirademea.ning.com/profiles/blogs/a-o-de-acompanhamento-e-avalia-o-do-programa-inct-3>>. Acesso em: 29 out. 2018.

U. S. GOVERNMENT. (2014). Materials Genome Initiative National Science and Technology Council Committee on Technology Subcommittee on the Materials Genome Initiative JUNE 2014. Whitehouse.Gov, (June).

VIOTTI, E. B. (2004). Technological Learning Systems, Competitiveness and Development. In International Conference on Technological Innovation and Development: Lessons from Taiwan.