

**Desafios para o Sistema Único de Saúde (SUS)  
no contexto nacional e global de transformações sociais,  
econômicas e tecnológicas - CEIS 4.0**

**CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM  
SAÚDE NO BRASIL: IMPACTOS DA REVOLUÇÃO 4.0  
E IMPLICAÇÕES PARA O CEIS**

**EQUIPE DE PESQUISA**

Coordenação: Marco Vargas

Pesquisadores: Nathália Alves e Matias Mrejen

## Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz Antônio Ivo de Carvalho

### Coordenador do CEE

Carlos Augusto Grabois Gadelha

### Projeto Integrado CEE

Complexo Econômico-Industrial da Saúde e  
Prospecção em CT&IS

### Subprojeto

Desafios do SUS no contexto nacional e global de  
transformações sociais, econômicas e  
tecnológicas – Projeto CEIS 4.0

### Coordenador Geral

Carlos Augusto Grabois Gadelha

### Coordenadores Adjuntos

José Cassiolato

Denis Gimenez

Equipe Executiva

Marco Aurélio Nascimento

Karla Bernardo Mattoso Montenegro

Felipe Kamia

Gabriela Maretto

Juliana Moreira

Leandro Safatle

### Colaboradores

Anna Durão (Divulgação e Comunicação),

Bernardo Cesário Bahia (Pesquisa), Glaucy Silva

(Gestão Administrativa), Elisabeth Lissovsky

(Revisão Português) e Nilmon Filho (Projeto Gráfico)

## Relatório de pesquisa – CEIS 4.0

### *Ciência, Tecnologia e Inovação em Saúde no Brasil: impactos da revolução 4.0 e implicações para o CEIS*

### Pesquisadores

Marco Vargas

Nathalia Alves

Matias Mrejen

Citar como:  
VARGAS, M; ALVES, N.; MREJEN, M. Ciência, Tecnologia e Inovação em Saúde no Brasil:  
impactos da revolução 4.0 e implicações para o CEIS. In: GADELHA, C. A. G. (Coord.),  
Projeto Desafios para o Sistema Único de Saúde no contexto nacional e global de transformações sociais,  
econômicas e tecnológicas (CEIS 4.0). Relatório de Pesquisa. Rio de Janeiro: CEE/Fiocruz, 2021.

Todos os direitos reservados ao Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz Antonio Ivo de Carvalho (CEE). Reprodução autorizada desde que citada a fonte.

Esta obra foi elaborada no âmbito do projeto “Desafios do SUS no contexto nacional e global de transformações sociais, econômicas e tecnológicas – CEIS 4.0”. As opiniões expressas refletem a visão dos autores, não representando a visão institucional sobre o tema

## SUMÁRIO

<b>1. Introdução .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Caracterização e avaliação da produção científica brasileira em saúde no quadro geral da produção científica nacional e internacional .....</b>	<b>9</b>
2.1. Aspectos metodológicos .....	9
3.2. Análise dos resultados .....	10
<b>3. Mapeamento de competências da base técnico-científica brasileira na área da saúde 4.0. ...</b>	<b>20</b>
3.1. Aspectos metodológicos .....	20
3.2. Análise dos resultados .....	23
<b>4. Interação entre instituições de pesquisa e setor produtivo no contexto do CEIS 4.0 .....</b>	<b>41</b>
4.1. Aspectos metodológicos .....	41
4.2. Análise dos resultados .....	43
<b>5. Caracterização e avaliação de esforços de capacitação dos segmentos do CEIS. ....</b>	<b>54</b>
5.1. Aspectos metodológicos .....	54
5.2. Análise dos resultados .....	55
<b>6. Considerações finais e próximos passos .....</b>	<b>69</b>
<b>Referências .....</b>	<b>79</b>
<b>Anexo 1 .....</b>	<b>82</b>
Tabela A1 – Compatibilização de áreas de conhecimento Web of Science e áreas de conhecimento CNPq e Capes .....	82
<b>Anexo 2 .....</b>	<b>90</b>

## 1. Introdução

Existem pelo menos dois aspectos que permitem situar o estudo da inovação em saúde num campo particularmente especial de análise. O primeiro diz respeito às interações entre o sistema de inovação em saúde, o sistema de bem-estar social e os desdobramentos decorrentes desta interação em termos da relação entre saúde e desenvolvimento socioeconômico. O segundo diz respeito à natureza complexa que assumem as inovações nos diversos segmentos que integram o Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS), onde cada vez mais se observa uma clara interdependência e fluidez entre as fronteiras tecnológicas que delimitam as inovações no subsistema de serviços médicos e nos demais segmentos da base industrial do CEIS (Gadelha, 2012; Gadelha, Temporão, 2018). As inovações no campo da saúde apresentam uma forte interação com processo de pesquisa básica e aplicada que é alimentado pelo setor científico. Ao mesmo tempo, a prática médica também desempenha um papel central na inovação em saúde, na medida em que constitui a origem de importantes fluxos de informações que alimentam novas agendas de pesquisa científica (Gelijns, Rosenberg, 1995).

No contexto atual, marcado pelo advento de uma pandemia com impactos sanitários e socioeconômicos sem precedentes na história contemporânea, observa-se que as atividades científicas, tecnológicas e de inovação (CT&I) no campo da saúde assumiram um espaço privilegiado nas políticas de enfrentamento e mitigação da crise sanitária. A ciência e a tecnologia sempre tiveram um papel central no combate às epidemias e emergências sanitárias de uma maneira geral. Entretanto, o panorama contemporâneo da CT&I em saúde no mundo revela um aprofundamento das assimetrias globais no domínio do conhecimento científico e tecnológico, que se reflete de forma direta e crescente no acesso à produção de bens e serviços para a saúde. Assim, dada a sua escala e impactos, a Covid-19 logrou demonstrar que a garantia de construção de uma efetiva soberania nacional em saúde passa, necessariamente, pela construção de Sistemas Nacionais de Inovação em Saúde robustos, bem financiados e articulados sistemicamente com a base produtiva industrial e de serviços em saúde.

O esforço de ampliar as atividades de CT&I em saúde para o enfrentamento da pandemia Covid-19 também tem contribuído para acelerar consideravelmente o processo de incorporação das novas plataformas tecnológicas digitais nas atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação

(PD&I) no campo da saúde (Vargas, Alves, Mrejen, 2021). A chamada 4ª Revolução Tecnológica (Schwab, 2016), caracteriza-se pela convergência de um conjunto de tecnologias disruptivas, tais como inteligência artificial (IA), robótica, internet das coisas (IoT), uso de grandes bases de dados (*big data*), e tem acarretado transformações significativas nos modos de geração, difusão e uso de novos conhecimentos, na indústria e na própria forma de organização da sociedade capitalista.<sup>1</sup> Existe um amplo consenso de que a saúde representa um campo com enorme potencial para o desenvolvimento e adoção dessas novas plataformas tecnológicas no Complexo Econômico-Industrial da Saúde (CEIS).

No contexto de países em desenvolvimento como o Brasil, a incorporação dessas novas plataformas tecnológicas em saúde envolve um enorme potencial para inovação nos segmentos do CEIS, entretanto contempla riscos de ampliação dos hiatos existentes no acesso da população aos bens e serviços em saúde. Por um lado, este processo de transformação digital da saúde com a crescente integração das novas plataformas ligadas à tecnologia da informação (TI) com a manufatura e o setor de serviços no setor de saúde, oferece uma janela de oportunidade que permite ampliar e promover o acesso universal, equitativo e acessível à saúde através do fortalecimento da base produtiva e tecnológica nacional da saúde em segmentos de alto valor agregado. Por outro lado, num contexto de crescentes assimetrias no processo de geração, difusão, aplicação e financiamento das atividades de CT&I em saúde em âmbito mundial, existe o risco de que a adoção dessas novas plataformas tecnológicas no País ocorra de forma subordinada, dependente e desarticulada com os interesses sociais e da saúde pública.

O objetivo deste estudo é analisar a dinâmica de geração, difusão e uso de competências científicas e tecnológicas na área da saúde, no Brasil e no mundo, tendo em vista o impacto oriundo das novas plataformas tecnológicas associadas à 4ª Revolução Tecnológica e as implicações deste

---

<sup>1</sup> Cabe ressaltar que este processo de acumulação de capacidades tecnológicas e sociais associado às revoluções tecnológicas já foi amplamente discutido e analisado por autores como Carlota Perez e Christopher Freeman e remetem ao conceito-chave de “paradigma tecnoeconômico”. Cada paradigma é definido a partir de conjunto de tecnologias pervasivas e princípios organizacionais genéricos que moldam e condicionam o processo de competição e inovação no sistema capitalista em diferentes períodos históricos de transição desde a primeira Revolução Industrial. Cada revolução tecnológica envolve, portanto, uma mudança de paradigma tecnoeconômico, e torna-se vital entender suas principais características, a fim de definir critérios para projetar instituições apropriadas e políticas eficazes capazes de promover o aproveitamento de janelas de oportunidade tecnológica e permitir a criação de trajetórias virtuosas de desenvolvimento econômico (Perez, 1983; Freeman; Louçã, 2002).

processo para a base produtiva em saúde no Brasil. O estudo parte do pressuposto de que o fortalecimento da infraestrutura científica, tecnológica e de inovação em saúde, e a compreensão sobre as formas de articulação entre esta infraestrutura e os diversos segmentos da base produtiva e de serviços em saúde constituem pilares fundamentais para a consolidação do Sistema Nacional de Inovação em Saúde de forma articulada com a demanda pública em saúde.

A análise desenvolvida no estudo contempla diferentes dimensões relativas à caracterização do processo de construção de competências em CT&I no contexto da saúde 4.0.

A primeira dimensão considera as implicações decorrentes do caráter crescentemente interdisciplinar e sistêmico da pesquisa científica e da inovação em saúde, particularmente no tocante à incorporação das novas plataformas tecnológicas digitais no campo da saúde. O estudo propõe uma definição abrangente dos campos disciplinares da pesquisa e inovação em saúde, o que implica considerar não somente as competências que estão associadas estritamente às “grandes áreas” de Ciências Biológicas e Ciências da Saúde da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), mas também às áreas específicas de conhecimento que aportam competências cruciais para incorporação de inovações no campo da saúde, tais como engenharia biomédica e modelagem de sistemas biológicos (Engenharias), química analítica (Exatas e da Terra), biotecnologia (Multidisciplinares), entre outras. A partir desta definição, o estudo procura identificar as **áreas de conhecimento** que são estratégicas para a construção de competências relevantes para o desenvolvimento da base produtiva em saúde no contexto da 4ª Revolução Tecnológica, além de mapear a densidade dessas competências na base técnico-científica brasileira na área da saúde.

Em atividades em que o progresso científico e tecnológico tende a ser mais acelerado e onde o conhecimento encontra-se dispersamente distribuído, os atores individuais dificilmente dispõem de todas as competências requeridas para um posicionamento à frente na fronteira em múltiplas áreas de conhecimento que devem estar integradas para geração de inovações. Além das elevadas multidisciplinariedade, pervasividade e mutabilidade características das bases de conhecimentos que suportam o avanço tecnológico no campo da saúde, observam-se as elevadas exigências de ativos complementares e recursos financeiros necessários para a condução de processos de P&D altamente custosos e incertos. Tais características favorecem o surgimento de vínculos próximos entre

empresas de diversos campos de atuação, universidades, laboratórios públicos, hospitais e demais subsistemas do CEIS, em colaborações que são mutuamente benéficas para as partes envolvidas e que resultam em processos de aprendizado cumulativos e coletivos derivados do ato de interagir (Powell, Grodal, 2006).

Em função destas características inerentes às bases de conhecimento na saúde 4.0, uma segunda dimensão analítica considera a intensidade dos esforços de capacitação **tecnológica realizados pelas empresas do segmento industrial e de serviços do CEIS**, bem como o impacto desse processo na construção de redes de colaboração. Para este tipo de análise, as informações sistematizadas no estudo contemplaram o estoque de patentes depositadas ou concedidas às empresas, que serve como indicador para a intensidade dos investimentos em P&D relacionados à utilização de tecnologias específicas, e, portanto, de sua capacidade para utilizar informações provenientes de fontes externas em nichos de conhecimento específicos. Empresas com um número elevado de patentes em um determinado nicho de conhecimento tornam-se mais propensas a estabelecerem redes de colaboração para exploração de fontes externas de conhecimento nesses nichos e em áreas de conhecimento próximas. Além disso, foram analisados os padrões de cooperação entre as esferas científica e produtiva em saúde por meio da análise das interações universidade-empresas entre componentes específicos dos segmentos do CEIS.

Quanto mais capacitada a utilizar o conhecimento proveniente de fontes externas, maior a propensão da firma individual a se engajar em um número maior de relacionamentos com outros agentes. Por outro lado, quanto maior a capacidade de avaliar a qualidade da interação potencial, menor tenderá a ser o número de relacionamentos com fontes externas, embora as alianças tendam a ser perenes e intensivas na troca efetiva de conhecimentos (Arora, Gambardella, 1995). A eficiência da rede, definida pela diversidade das informações e das capacitações envolvidas na aliança de colaboração, tende a produzir impactos positivos sobre o patenteamento das firmas (Powell, Grodal, 2006).

Uma terceira dimensão contemplada no estudo considera as assimetrias associadas ao processo de geração e apropriação de novos conhecimentos científicos e tecnológicos no campo da saúde, tanto em âmbito global como nacional. Essa discussão é apresentada a partir da caracterização e avaliação da produção científica brasileira em saúde no quadro geral da produção científica nacional e internacional. As informações sobre a produção científica brasileira indexada inter-

nacionalmente por área de conhecimento permite uma análise bibliométrica sobre os padrões de evolução e o impacto da produção científica brasileira na área da saúde no contexto internacional. Dentre as principais variáveis que constituem foco deste tipo de análise destacam-se: i) a evolução da produção científica brasileira em áreas selecionadas relacionadas com a saúde 4.0 em termos do número de documentos e participação no total mundial; ii) o grau de impacto destas publicações, os padrões de cooperação internacional em publicações científicas relacionadas com a saúde 4.0 e, iii) os padrões de interação e colaboração entre academia, indústria e instituições de fomento através de redes de coautorias.

Tendo em vista esse conjunto de dimensões, o relatório encontra-se organizado em torno de cinco seções, além desta introdução. Cada seção inicia com um detalhamento da metodologia utilizada para coleta e sistematização dos dados. A próxima seção apresenta uma análise comparativa sobre a evolução da produção científica em saúde no quadro geral da produção científica nacional e internacional. Em particular, essa seção busca analisar o impacto de áreas de conhecimento associadas à saúde 4.0 no volume de publicações e nas redes de colaboração científica em saúde no Brasil e no mundo. A terceira seção apresenta um mapeamento das competências da base técnico-científica brasileira na área da saúde, com foco na participação de áreas de conhecimento consideradas potencialmente importantes para incorporação das novas plataformas tecnológicas associadas à indústria 4.0. Além disso, a seção também traz uma análise sobre a evolução da infraestrutura de CT&I em saúde no Brasil em termos da formação de pesquisadores e da evolução de grupos de pesquisa na área da saúde. A quarta seção apresenta e analisa os padrões de interação entre instituições de pesquisa e a base produtiva em saúde, tendo em vista as formas de articulação entre diferentes atores institucionais que integram o sistema nacional de inovação em saúde no Brasil e diferentes segmentos de empresas do CEIS. A quinta seção traz uma caracterização e avaliação dos esforços de capacitação dos segmentos industrial e de serviços do CEIS a partir da análise de dados de famílias de patentes na área da saúde 4.0. Por fim, a sexta seção traz uma síntese dos resultados do estudo e apresenta propostas de ampliação da agenda de pesquisa.

## **2. Caracterização e avaliação da produção científica brasileira em saúde no quadro geral da produção científica nacional e internacional**

A análise desenvolvida nesta seção visa avaliar a inserção brasileira no campo da produção científica internacional sobre aplicações de conhecimentos e técnicas relacionados à revolução 4.0 no campo da saúde. Ao mesmo tempo, a seção busca identificar a importância relativa de diferentes países e atores institucionais no processo de geração, difusão e financiamento das atividades de CT&I referentes às aplicações de conhecimentos e tecnologias associadas à revolução 4.0 no campo da saúde, referidas neste estudo como saúde 4.0.

### **2.1. Aspectos metodológicos**

A análise apresentada se baseia no levantamento de dados de publicações coletados das bases de dados Web of Science. Os dados de publicação da coleção principal da Web of Science contemplam artigos, editoriais, capítulos de livros, textos para discussão, notas, periódicos, livros, séries de livros, relatórios, conferências e outros materiais acadêmicos referentes ao período 1945-2020 e indexados em 23 idiomas, tendo sido a primeira observação da amostra verificada em 1967. A base de dados fornece, ainda, informações sobre áreas de conhecimento, nome dos autores e redes de coautoria, instituição e país de afiliação de autores e coautores, autores institucionais, corporativos e consórcios de pesquisa, organizações financiadoras dos estudos, nomes de revistas e encontros relativos às publicações. A coleta de dados foi feita a partir da seleção de um conjunto de palavras-

-chave relacionadas a revolução 4.0<sup>2</sup> (Lopes et al., 2019) e sua interseção com as áreas de conhecimento de ciências da vida e biomedicina que amparam os avanços em saúde.<sup>3</sup>

## 2.2. Análise dos resultados

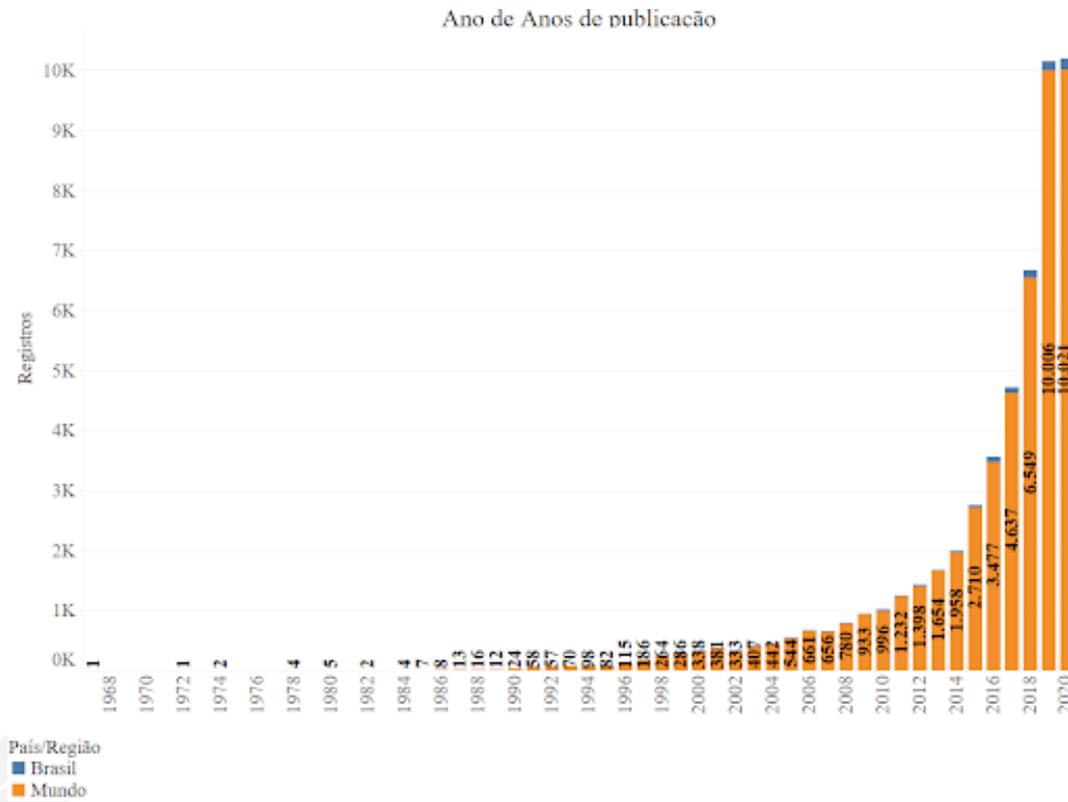
A análise sobre as diferentes áreas que integram a produção de conhecimento científico sobre a saúde 4.0 serve como um indicador importante para a compreensão do caráter interdisciplinar e multidisciplinar associado às bases de conhecimento científico e tecnológico em saúde.

Ao longo do período 1967-2020 foram observadas 51.445 publicações referentes às aplicações de conhecimentos e tecnologias associadas à revolução 4.0 no campo da saúde, referidas neste estudo como saúde 4.0. As publicações mundiais sobre o tema cresceram a uma média anual de 27% no período 1967-2020, tendo se intensificado principalmente a partir de 2011. No Brasil, a primeira publicação sobre saúde 4.0 ocorreu em 1994. A produção científica sobre o tema no País cresceu a uma taxa anual média de 45% no período 1994-2020, superior à média mundial de 22% no mesmo período. As publicações se intensificaram no triênio 2018-2020, alcançando a marca de 887 artigos científicos no período de análise 1994-2020.

2 (TS=(“3d printing” OR “artificial intelligence” OR “machine learning” OR “cognitive systems” OR “deep learning” OR “augmented reality” OR “mixed reality” OR “autonomous robots” OR “autonomous vehicles” OR “blockchain” OR “cloud computing” OR “internet of things” OR “telemedicine” OR “robotic surgery” OR “robots” OR “big data” or “collaborative robots” OR “Impressão 3D” OR “inteligência artificial” OR “aprendizado de máquina” OR “sistemas cognitivos” OR “aprendizado profundo” OR “realidade aumentada” OR “realidade mista” OR “robôs autônomos” OR “veículos autônomos” OR “cadeia de blocos” OR “computação em nuvem” OR “internet das coisas” OR “telemedicina” OR “cirurgia robótica” OR “robôs” OR “metadados” OR “robôs colaborativos”)) AND (SU=(“medicine” OR “Allergy” OR “Anatomy” OR “Morphology” OR “Anesthesiology” OR “Biochemistry” OR “Molecular Biology” OR “Biophysics” OR “Biotechnology” OR “Applied Microbiology” OR “Cardiovascular System” OR “Cardiology” OR “Cell Biology” OR “Critical Care Medicine” OR “Dentistry, Oral Surgery” OR “Medicine” OR “Dermatology” OR “Developmental Biology” OR “Emergency Medicine” OR “Endocrinology” OR “Metabolism” OR “Entomology” OR “Evolutionary Biology” OR “Gastroenterology” OR “Hepatology” OR “Genetics” OR “Heredity” OR “Immunology” OR “Life Sciences Biomedicine Other Topics” OR “Medical Informatics” OR “Medical Laboratory Technology” OR “Microbiology” OR “Mycology” OR “Neurosciences” OR “Neurology” OR “Nursing” OR “Nutrition” OR “Dietetics” OR “Obstetrics” OR “Gynecology” OR “Oncology” OR “Ophthalmology” OR “Orthopedics” OR “Otorhinolaryngology” OR “Parasitology” OR “Pathology” OR “Pediatrics” OR “Pharmacology” OR “Pharmacy” OR “Physiology” OR “Plant Sciences” OR “Psychiatry” OR “Public Health” OR “Environmental Health” OR “Occupational Health” OR “Radiology” OR “Nuclear Medicine” OR “Medical Imaging” OR “Rehabilitation” OR “Reproductive Biology” OR “Medicine Research” OR “Experimental Medicine” OR “Respiratory System” OR “Rheumatology” OR “Substance Abuse” OR “Surgery” OR “Toxicology” OR “Transplantation” OR “Tropical Medicine” OR “Urology” OR “Nephrology” OR “Virology” OR “Fonoaudiologia e distúrbios da fala e linguagem” OR “General Medicine” OR “Internal Medicine” OR “Geriatrics” OR “Gerontology” OR “Health Care Sciences” OR “Health Care Services” OR “Hematology” OR “Infectious Diseases” OR “Integrative Medicine” OR “Complementary Medicine” OR “Legal Medicine” OR “Mathematical Biology” OR “Computational Biology”)).

<sup>3</sup> A atualização da base de dados é contínua e os dados foram coletados em 13 de outubro de 2020.

**Figura 1 – Publicações mundiais relacionadas com saúde 4.0 (1967-2020)**



Fonte: Elaboração própria baseada em dados extraídos da base Web of Science.

A participação das publicações brasileiras sobre o tema corresponde a 1,72% das publicações mundiais no período 1967-2020. A Tabela 1 consolida a lista de países que individualmente representam mais de 1% da publicação científica mundial em saúde 4.0 no período 1967-2020.

Uma forma alternativa e mais precisa de avaliar a inserção internacional do Brasil em termos de produção científica é considerar as classificações dos países com base no índice h,<sup>4</sup> uma medida qualitativa do impacto e da relevância da produção científica em relação ao seu respectivo número de citações (Hirsch, 2005). O índice h é um indicador métrico que considera não apenas o número de documentos

<sup>4</sup> O índice h é baseado em uma lista de publicações classificadas em ordem decrescente pela contagem do número de citações. Um índice “h” denota o número “h” de publicações que possuem pelo menos um número “h” de citações (Hirsch, 2005). Por exemplo, um índice h de 20 significa que existem 20 artigos de um determinado autor, grupo ou país que têm 20 ou mais citações. A métrica é útil para avaliações qualitativas e comparações porque desconta o peso proporcional dos artigos muito citados ou também o peso relativo dos artigos que ainda não foram citados. Não é possível o cômputo do índice h para os Estados Unidos devido ao elevado número de observações e às limitações da base de dados da Web of Science.

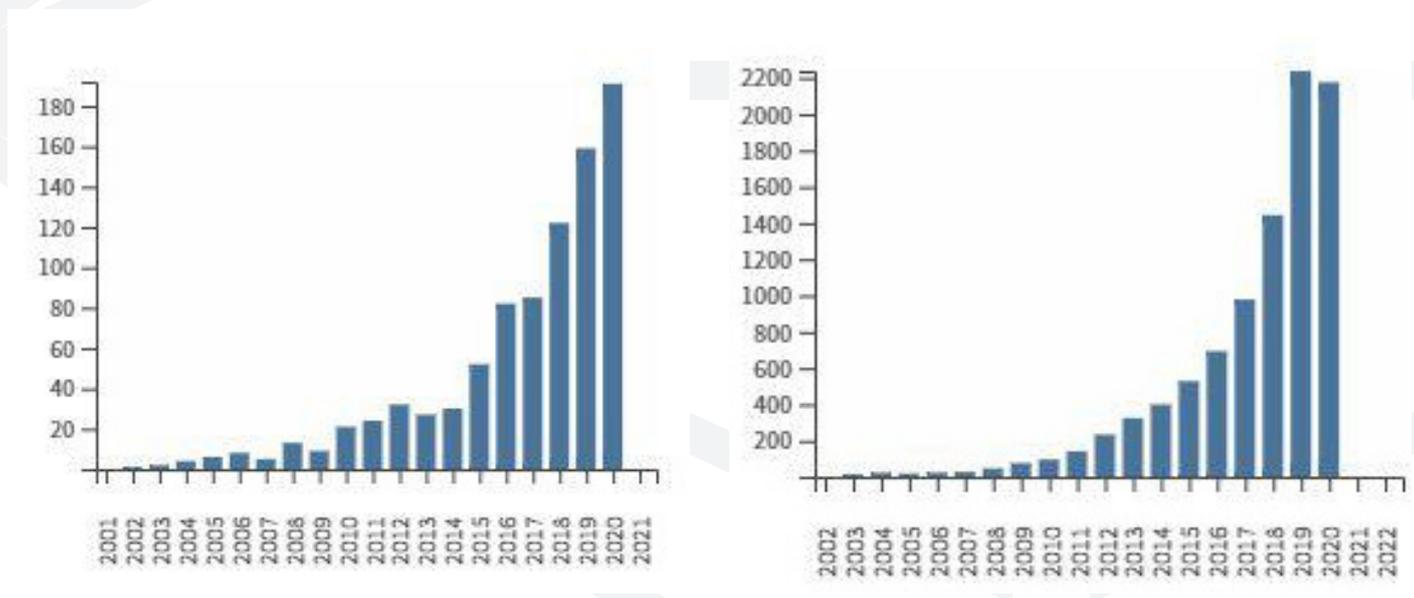
científicos publicados por cada país, mas também o número de citações que cada documento recebeu como uma proxy para o impacto da produção científica na comunidade científica internacional.

A produção científica brasileira em saúde 4.0 apresentou um crescimento quantitativo considerável ao longo do período 2001-2020, como indicado na Figura 2.a, acompanhado pelo aumento do número de citações a essas publicações, indicando um avanço qualitativo do impacto da produção científica nacional conforme mostrado na Figura 2.b. Os 887 documentos encontrados relacionados a autores e instituições brasileiras apresentaram uma soma geral de 9.525 citações, resultando em uma média de 10,74 citações por item e um índice h 45 que mede o impacto qualitativo da produção brasileira em saúde 4.0.

**Figura 2 - Itens publicados por ano e citações em cada ano em saúde 4.0**

**Itens publicados por ano**

**b. Citações em cada ano**



Fonte: Web of Science

Em termos comparativos, a Tabela 1 incorpora os indicadores de número de artigos em saúde 4.0, percentual da produção científica e o índice h de cada país. A lista é liderada pelos Estados Unidos, que concentram 40% dos artigos mundiais no tema, seguido por China, Inglaterra, Alema-

nha, Canadá, Itália, Austrália e França. Em função do elevado número de publicações, os dados qualitativos relativos ao índice h do líder mundial em publicações, os Estados Unidos, não estão disponíveis na base de dados. A China, segundo país maior em número de publicações apresenta um índice h 93, enquanto países como Inglaterra (índice h 119) e Alemanha (índice h 109) se destacam pelo elevado impacto de suas produções científicas no tema e individualmente representam cerca de 8% do total de publicações em saúde 4.0. Em termos gerais, a produção científica brasileira é compatível com os padrões internacionais, e o Brasil é o 16º país com maior número de publicações científicas em saúde 4.0, embora apresente o terceiro menor índice h na lista de 24 países líderes em publicações científicas em saúde 4.0. Em termos qualitativos de impacto, a produção nacional se assemelha ao perfil de países como Taiwan, Israel, Índia e Cingapura.

**Tabela 1 – Países com maior número de publicações científicas relacionadas à saúde 4.0 (1967-2020)**

Países/Regiões	Registros	% Total	Índice h
EUA	20.959	40,74%	-
China	6.590	12,81%	93
Inglaterra	4.284	8,33%	119
Alemanha	4.263	8,29%	109
Canadá	2.760	5,36%	89
Itália	2.544	4,95%	84
Austrália	2.253	4,38%	73
França	2.058	4,00%	80
Coreia Do Sul	1.973	3,84%	63
Japão	1.883	3,66%	60
Espanha	1.798	3,49%	61
Países Baixos	1.639	3,19%	78
Índia	1.607	3,12%	48
Suíça	1.303	2,53%	76
Suécia	896	1,74%	54
<b>Brasil</b>	<b>887</b>	<b>1,72%</b>	<b>45</b>
Taiwan	813	1,58%	42
Bélgica	790	1,54%	53
Peru	698	1,36%	35
Dinamarca	689	1,34%	53
Áustria	627	1,22%	56
Escócia	615	1,20%	49

Cingapura	588	1,14%	50
Israel	582	1,13%	45

Fonte: Elaboração própria baseada em dados extraídos da base Web of Science.

As publicações relacionadas à saúde 4.0 congregam 122 áreas de conhecimento em todo o período de análise no mundo. A grande área de ciências da saúde e biomedicina representa 80% das publicações mundiais no período total de análise. Apesar da prevalência esperada das ciências da vida, áreas de conhecimento relacionadas à tecnologia (14%) como ciência da computação e engenharia; as ciências físicas (3%), como química e matemática; e as ciências sociais (2%), como psicologia, são verificadas na amostra bibliográfica.

As publicações brasileiras entre 1994-2020 estão dispersas por 93 áreas de conhecimento. A Tabela 2 apresenta as vinte áreas de conhecimento com o maior registro de publicações no mundo. No Brasil, além das áreas contempladas na Tabela 2, destacam-se ainda as áreas de psiquiatria (42), oftalmologia (22), cirurgia oral e odontológica (22), ciências das plantas (22), urologia e nefrologia (19), enfermagem (17), psicologia (16), ginecologia obstétrica (16), biofísica (15) e imunologia (14). Nestas áreas destacam-se estudos sobre: novos diagnósticos de doenças e distúrbios mentais através de técnicas que combinam neuroimagem, testes automatizados e algoritmos de inteligência artificial e *machine learning*; sistemas automatizados para diagnósticos e gradação de doenças oftalmológicas; impressão 3D de implantes dentais e realidade aumentada aplicada à cirurgia oral; algoritmos para detecção automatizada de perfil metabólico, potenciais efeitos medicinais, biomarcadores e identificação de proteínas mitocondrialmente localizadas em plantas; cirurgia urológica robotizada e telemedicina; treinamento virtual por teleimagem e telemedicina em cuidados de saúde; cirurgia ginecológica robotizada, uso de inteligência artificial para individualização de tratamento oncológico e telemonitoramento de cuidados intensivos neonatais; sistemas automatizados de predição de peptídeos antimicrobianos e ambientes de simulação para nanopartículas; além de utilização de técnicas de *machine learning* para identificação de biomarcadores, predição de resposta imunológica e recomendação de vacinas através do estudo de redes neurais.

**Tabela 2 – Áreas de conhecimento altamente relacionadas à pesquisa sobre saúde 4.0**

Áreas de pesquisa	País / Região	
	Brasil	Mundo
Ciência da computação	139	7.062
Serviços de ciências de cuidados de saúde	101	6.280
Neurologia	110	6.047
Biologia e bioquímica molecular	99	5.851
Biologia computacional matemática	84	5.096
Radiologia nuclear médica e medicina de imagem	34	5.024
Informática médica	84	4.986
Cirurgia	62	4.904
Engenharia	78	3.792
Microbiologia aplicada à biotecnologia	59	3.265
Medicina interna geral	27	2.275
Farmacologia e farmácia	26	1.964
Oncologia	16	1.898
Saúde pública ambiental ocupacional	41	1.824
Pesquisa experimental de medicina	13	1.426
Cardiologia e sistema cardiovascular	39	1.379
Química	34	1.364
Hereditariedade e genética	27	1.327
Ciências da vida e biomedicina - outros tópicos	34	1.304
Matemática	13	1.296

Fonte: Elaboração própria baseada em dados extraídos da base Web of Science.

Além de multidisciplinar, o conhecimento também é interdisciplinar. Isto é, além de relacionado a múltiplas áreas de conhecimento, estas áreas de conhecimento estão interligadas entre si a partir de pares de interdependências. A base de conhecimentos evolui não apenas a partir da criação de novas peças de conhecimento fundamental, mas também a partir de novas combinações peças de conhecimento preexistentes e dissimilares. Cada publicação pode estar associada a uma ou mais áreas de conhecimento, resultando em uma rede de áreas de conhecimento direta ou indiretamente correlacionadas através de fluxos interdisciplinares de conhecimento.

A observação de dupla contagem dos artigos científicos registrados por áreas de conhecimento (90.598 no mundo e 1.576 no Brasil) corrobora as hipóteses de multidisciplinariedade e interdisciplinaridade da base de conhecimentos. O número elevado de registros mundiais e limitações

relacionadas à extração de microdados da *Web of Science* dificultam a caracterização da rede de conhecimentos em termos mundiais.

A verificação da hipótese de interdisciplinaridade é possível para o caso brasileiro, devido ao menor número de observações da amostra bibliográfica. A Figura 3 apresenta a rede de áreas de conhecimento associadas às 887 publicações sobre saúde 4.0 no período 1994-2020 no Brasil. É possível observar a importância relativa em termos de grau de interligação e centralidade das áreas de conhecimento e ciências da computação, biologia matemática e computacional, bioquímica e biologia molecular e, em menor grau de cirurgia e biotecnologia e microbiologia aplicadas. De fato, a interligação de áreas de tecnologia como ciências da computação, robótica, sensoriamento e outras com as áreas de ciências da saúde e da vida são chave para o desenvolvimento dos conhecimentos que amparam os avanços em saúde 4.0, promovendo a integração e a criação de novas peças de conhecimento através de grupos de pesquisa interdisciplinares, especialmente entre as áreas que amparam historicamente os avanços em ciências da informação e da comunicação, robótica e automação e as ciências da saúde e da vida.



Federal de São Paulo (63), Universidade Estadual de Campinas (56), Fundação Oswaldo Cruz (39), Universidade Estadual Paulista (34), Universidade Federal de Santa Catarina (28), Hospital Israelita Albert Einstein (26) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (26).

Um aspecto importante das publicações realizadas por pesquisadores brasileiros é a elevada frequência de colaboração científica com autores e instituições internacionais de países como Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, Canadá, França, Austrália, Itália, Espanha, Holanda, China, Portugal, Índia, Suécia, Bélgica, Suíça, Argentina, Japão e Coreia do Sul. Tendo em vista as características de não rivalidade, não exclusividade, não exauribilidade, cumulatividade e fragmentabilidade do conhecimento científico e a coletividade dos processos de aprendizagem (Chiarini, 2017; Foray, 2006), a colaboração internacional em ciência com universidades e instituições de pesquisa de líderes mundiais em saúde 4.0 aumenta consideravelmente a probabilidade de ocorrência de transbordamentos de conhecimento que resultem em construções de capacitações científicas neste tema no Brasil. Por exemplo, pesquisadores brasileiros que realizam cursos de pós-graduação, doutorado sanduíche e atividades de pós-doc no exterior frequentemente desenvolvem redes de coautoria com pares internacionais que se traduzem nos dados bibliográficos de colaboração internacional. Nestes casos, o conhecimento gerado e apropriado através da colaboração potencialmente transborda diretamente para os pesquisadores da instituição de ciência e tecnologia brasileira de origem do pesquisador e, indiretamente, para seus parceiros nacionais. A hipótese de transbordamento é plausível na esfera da ciência, embora não necessariamente se corrobore na esfera da tecnologia em face às diferenças de incentivos característicos de cada uma destas duas esferas (Stephan, 2010; Foray, Lissoni, 2010).

As principais parceiras nas colaborações internacionais em saúde 4.0 foram as instituições: Harvard University, University of London, University of Texas System, Harvard Medical School, University of California System, University of Toronto, King S College London, University College London, Karolinska Institutet, Massachusetts General Hospital, State University System of Florida, Centre National de la Recherche Scientifique, University of Barcelona e University of Cape Town.

Da mesma forma que na produção de conhecimento científico, o financiamento público das pesquisas é aspecto comum no âmbito nacional e internacional. Destacam-se departamentos e institutos do United States Department of Health Human Services, do National Institutes of Health e

da National Science Foundation dos Estados Unidos da América, agência chinesa National Natural Science Foundation of China, além da União Europeia e da German Research Foundation dentre os principais financiadores por número de estudos apoiados relacionados à saúde 4.0 no mundo. O Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq) aparece na 29ª colocação entre as principais instituições internacionais de apoio à pesquisa. Quando se consideram todas as nomenclaturas que fazem referência ao CNPq na base de dados do Web of Science é possível identificar pelo menos 284 registros de estudos sobre saúde 4.0 apoiados pela agência brasileira. Entretanto, tal posicionamento não reflete necessariamente a importância relativa do CNPq em termos do volume de recursos financeiros aportados em atividades de PD&I relacionadas à saúde 4.0 no Brasil e no mundo, mas sim a sua capilaridade no apoio financeiro à infraestrutura científica e tecnológica. Da mesma forma, é importante ressaltar que cada publicação pode envolver um número expressivo de autores e coautores. Cada autor é filiado a uma instituição de pesquisa e pode receber individualmente alguma forma de apoio por agências nacionais e regionais de fomento à pesquisa. Dessa forma, é possível que um mesmo estudo seja apoiado por múltiplas agências financiadoras nacionais e internacionais através de relações de coautoria.

A Figura 4 consolida a rede de apoio relacionada às agências que financiam os autores e coautores dos estudos envolvendo pelo menos um pesquisador brasileiro e suas instituições de pesquisa. Os dados evidenciam a importância de agências nacionais como o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) no apoio às pesquisas brasileiras relacionadas à saúde 4.0 no período 1994-2020. Outras instituições centrais no apoio à pesquisa foram as Fundações de Amparo à Pesquisa dos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (Fapesp, Faperj e Fapemig), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e os Ministérios da Saúde e da Ciência e Tecnologia.

Destaca-se ainda, em menor grau, o financiamento de estudos com autores brasileiros pelas grandes empresas farmacêuticas, como Eli Lilly, Johnson & Johnson USA, Novartis, Astrazeneca, Janssen Biotech Inc, Bristol Myers Squibb, Glaxosmithkline, Merck Company, Pfizer, Roche Holding, Abbvie, Bausch and Lomb e Bayer Ag, além da Samsung Eletrônica da Amazonia Ltda.



de 4.0 teve como base a mesma metodologia adotada para seleção de áreas de conhecimento na base de dados Web of Science para realizar a análise comparativa da produção bibliográfica em saúde 4.0 no Brasil e no mundo, apresentada na seção anterior. Foram consideradas relevantes as áreas de conhecimento com produção de artigos acadêmicos vinculados à saúde 4.0. Desta forma, foram incluídas a maior parte das áreas de conhecimento pertencentes à grande área “Ciências da vida e biomedicina” com a adição de outras áreas relacionadas com ciência básica (p. ex., química, física e matemática) e tecnologias relevantes para à revolução 4.0 (p. ex., ciências da computação e robótica). Adicionalmente, foi incluída a área de psicologia, vinculada com potenciais aplicações das tecnologias da revolução 4.0 na área da saúde.

A seguir, foi realizado um trabalho de compatibilização entre as áreas de conhecimento incluídas na base de dados Web of Science e as áreas de conhecimento incluídas nas bases DGP-CNPq e GeoCapes. O objetivo do trabalho de compatibilização foi a identificação de um grupo de áreas de conhecimento potencialmente relevantes para a saúde 4.0 aplicável às diferentes bases de dados utilizadas na análise. A Tabela A1 no anexo explicita as áreas consideradas na análise.

É necessário salientar que a identificação dessas áreas permite mapear competências da base técnico-científica brasileira que apresentam potencial para o desenvolvimento de capacitações vinculadas com a aplicação das tecnologias resultantes da revolução 4.0 na área da saúde. Tal análise não visa identificar grupos de pesquisa, pesquisadores, professores, pós-graduandos que atuam efetivamente em pesquisas vinculadas à saúde 4.0, mas sim compreender o potencial do sistema científico-tecnológico brasileiro na produção de conhecimentos científicos no campo da saúde 4.0, tendo em vista o caráter multidisciplinar e interdisciplinar deste campo de conhecimento.

A fim de avançar numa caracterização mais precisa, tanto das capacidades potenciais da base científico-tecnológica para enfrentar a revolução 4.0 na área da saúde quanto dos recursos que de fato estão sendo destinados para essa área na atualidade, a análise apresentada no final da seção baseia-se na identificação preliminar dos grupos de pesquisa que estão efetivamente trabalhando na fronteira de saúde 4.0, a partir de uma busca parametrizada na base corrente do Diretório do DGP-CNPq.

A base de dados GeoCapes<sup>5</sup> inclui dados sobre os programas (número de professores, douto-

---

<sup>5</sup> A base está disponível em: <<https://geocapes.capes.gov.br/geocapes/>>. Acesso em: 26 out. 2020.

randos e mestrados) e bolsas de pós-graduação no Brasil (número de bolsas de mestrado, doutorado e pós-doutorado). A base contempla o número de professores (colaboradores, permanentes e visitantes) e o número de mestrados e doutorandos (matriculados e titulados) por ano para cada programa de pós-graduação do País entre 1998 e 2019. Adicionalmente, a base inclui também o número de bolsistas de mestrado, doutorado e pós-doutorado por ano para cada programa de pós-graduação entre 1995 e 2019.

A base GeoCapes foi utilizada para realizar dois tipos de análises. O primeiro relativo à análise da evolução histórica do total para cada indicador (número de professores, número de doutores e mestres titulados, número de bolsas de mestrado, doutorado e pós-doutorado), identificando a parcela do total correspondente a áreas relevantes para saúde 4.0. O segundo, para o último ano com dados disponíveis, relativo à identificação das instituições com mais professores, pós-graduandos titulados e bolsistas em áreas relevantes para a saúde 4.0, assim como as instituições com maior proporção de recursos nessas áreas.

A base de dados do DGP-CNPq<sup>6</sup> inclui informações sobre todos os grupos de pesquisa cadastrados no CNPq. A base inclui dados sobre os recursos humanos (número de pesquisadores, estudantes, técnicos e colaboradores estrangeiros), as linhas de pesquisa, as áreas de conhecimento e as parcerias estabelecidas por cada grupo. Adicionalmente, a base contempla dados sobre a produção científica e tecnológica dos grupos. Os dados censitários dos grupos de pesquisa estão disponíveis para os anos: 1993, 1995, 1997, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2014 e 2016.

A base do DGP-CNPq foi utilizada para realizar três tipos de análise. Inicialmente, foi analisada a evolução histórica do total de grupos de pesquisa e de pesquisadores e dos grupos e pesquisadores em áreas selecionadas como potencialmente relevantes para saúde 4.0.<sup>7</sup> A seguir, para o último ano com dados censitários disponíveis foram identificadas as instituições com mais grupos de pes-

---

<sup>6</sup> Tabelas com as séries históricas para indicadores selecionados estão disponíveis em: <<http://lattes.cnpq.br/web/dgp/sobre>>. Acesso em: 26 out. 2020). Adicionalmente, foram utilizados os microdados para o ano de 2016.

<sup>7</sup> Adicionalmente, a base DGP-CNPq foi utilizada para identificar os relacionamentos entre a base técnico-científica brasileira e o setor produtivo (ver seção 4).

quisa em áreas selecionadas como potencialmente relevantes para a saúde 4.0.<sup>8</sup> Finalmente, foi realizada uma busca direcionada no site do DGP-CNPq para identificação de grupos de pesquisa que desenvolvem pesquisa diretamente relacionada com as tecnologias da revolução 4.0 e grupos de pesquisa que desenvolvem pesquisa relacionada com essas tecnologias e possíveis aplicações na área da saúde. Foi utilizada a ferramenta de consulta parametrizada disponibilizada no site e a busca foi realizada a partir dos termos referentes a tecnologias da revolução 4.0.<sup>9</sup> Foram considerados todos os grupos nos quais um desses termos aparece pelo menos em um dos seguintes campos da busca: “Nome do grupo”, “Nome da linha de pesquisa” ou “Palavra-chave da linha de pesquisa”. Nessa lista, foi realizada uma análise do nome de cada grupo, assim como da descrição das linhas de pesquisa e as repercussões para determinar quais deles trabalham com pesquisa na área de aplicação das tecnologias da revolução 4.0 à saúde ou à medicina.

### 3.2. Análise dos resultados

A análise a seguir contempla a evolução histórica das competências da base técnico-científica brasileira na área da saúde 4.0, a partir da identificação das áreas de conhecimento selecionadas, e da evolução dessas áreas em termos do número de grupos de pesquisas, pesquisadores, professores, estudantes e bolsistas de pós-graduação.

A Tabela 3 apresenta a evolução do número de professores doutores em programas de pós-graduação no Brasil. A tabela apresenta a quantidade de professores permanentes e o total de professores (i.e., incluindo também o número de professores colaboradores e professores visitantes) para o total das áreas de conhecimento e para as áreas consideradas relevantes para saúde 4.0.

---

<sup>8</sup> Não foi analisado o número de pesquisadores por instituição já que o dado sofre problemas de dupla contagem. Em uma mesma instituição, um pesquisador pode ser contado em diferentes grupos de pesquisa.

<sup>9</sup> Os seguintes termos: “3D printing”, “artificial intelligence”, “machine learning”, “cognitive systems”, “deep learning”, “augmented reality”, “mixed reality”, “autonomous robots”, “autonomous vehicles”, “blockchain”, “cloud computing”, “internet of things”, “telemedicine”, “robotic surgery”, “robots”, “big data”, “collaborative robots”, “Impressão 3D”, “inteligência artificial”, “aprendizado de máquina”, “sistemas cognitivos”, “aprendizado profundo”, “realidade aumentada”, “realidade mista”, “robôs autônomos”, “veículos autônomos”, “cadeia de blocos”, “computação em nuvem”, “internet das coisas”, “telemedicina, cirurgia robótica”, “robôs”, “metadados”, “robôs colaborativos”.

No período 2004-2019,<sup>10</sup> a quantidade total de professores doutores aumentou 161% e a de professores permanentes 174%. No caso de professores atuando em programas de pós-graduação de áreas selecionadas, esses aumentos foram de 132% e 145% respectivamente. Similar ao caso dos grupos de pesquisa e de pesquisadores, as diferenças no ritmo de crescimento implicaram uma diminuição da participação dos professores atuando em programas de áreas selecionadas sobre o total de professores atuando em programas de pós-graduação.

**Tabela 3 – Professores permanentes e total de professores em programas de pós-graduação (total e em áreas selecionadas)**

Ano	Professores permanentes	Professores permanentes em áreas selecionadas	% Professores permanentes em áreas selecionadas	Total de professores	Total de professores em áreas selecionadas	% Total de professores em áreas selecionadas
2004	31.561	16.324	51,72%	40.725	21.409	52,57%
2005	33.717	17.363	51,50%	43.524	22.791	52,36%
2006	37.164	19.038	51,23%	47.571	24.774	52,08%
2007	39.424	20.199	51,24%	50.581	26.244	51,89%
2008	42.113	21.652	51,41%	53.706	27.933	52,01%
2009	45.035	23.031	51,14%	57.251	29.734	51,94%
2010	47.438	24.589	51,83%	60.038	31.396	52,29%
2011	52.783	27.644	52,37%	66.507	35.199	52,93%
2012	56.977	29.966	52,59%	71.507	38.039	53,20%
2013	62.839	33.138	52,73%	79.194	42.282	53,39%
2014	67.712	35.473	52,39%	85.418	45.260	52,99%
2015	71.729	37.656	52,50%	90.130	47.925	53,17%
2016	76.369	39.841	52,17%	95.182	50.278	52,82%
2017	80.772	38.019	47,07%	100.287	47.877	47,74%
2018	82.468	38.669	46,89%	102.202	48.522	47,48%
2019	86.331	40.072	46,42%	106.338	49.739	46,77%

Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

Nota: A base inclui unicamente o número de professores doutores em programas de pós-graduação credenciados na Capes. Os dados de 1998 a 2003 foram excluídos por serem incompatíveis com a série desde 2004.

<sup>10</sup> Os dados para o período 1998-2003 foram excluídos por serem incompatíveis com a série para os anos 2004-2019.

A Tabela 4 apresenta a evolução do número de grupos de pesquisa e pesquisadores para todas as áreas do CNPq e para as áreas selecionadas na saúde, a partir do recorte proposto para saúde 4.0. Essas quantidades apresentam uma marcada expansão no período para o qual existem dados disponíveis. Em 1993, existiam no Brasil 6.480 grupos de pesquisa cadastrados no CNPq, em 2000 eram 11.760 e em 2016, 37.640. Entre os anos de 2000 e 2016 o total de grupos de pesquisa e de pesquisadores teve um aumento de 220% e 354%, respectivamente. Nas áreas selecionadas na saúde, observa-se também um aumento considerável na quantidade de grupos de pesquisa e pesquisadores, mas a ritmo menor do que no total das áreas. A quantidade de grupos de pesquisa em áreas relevantes para a saúde 4.0 aumentou 154% e a de pesquisadores, 285%. Essas diferenças no ritmo de crescimento refletem-se na diminuição da proporção correspondente a grupos e pesquisadores relevantes para saúde 4.0. Enquanto em 2000, 53,8% dos grupos de pesquisa e 51,4% dos pesquisadores eram relevantes para saúde 4.0; em 2016, essas proporções eram 43,1% e 43,6% respectivamente.

**Tabela 4 – Grupos de pesquisa e pesquisadores (total e em áreas selecionadas)**

Ano	Total de grupos de pesquisa	Grupos de pesquisa em áreas selecionadas	% grupos em áreas selecionadas	Total de pesquisadores	Pesquisadores em áreas selecionadas	% pesquisadores em áreas selecionadas
1993	6.480	3.794	58,55%	-	-	-
1995	7.174	4.199	58,53%	-	-	-
1997	8.541	4.828	56,53%	-	-	-
2000	11.760	6.330	53,83%	56.017	28.787	51,39%
2002	15.158	7.936	52,36%	68.291	34.795	50,95%
2004	19.470	9.965	51,18%	95.541	48.075	50,32%
2006	21.024	10.409	49,51%	111.322	54.436	48,90%
2008	22.797	11.010	48,30%	128.667	60.956	47,38%
2010	27.523	12.865	46,74%	162.295	75.177	46,32%
2014	35.424	15.689	44,29%	230.558	102.629	44,51%
2016	37.640	16.233	43,13%	254.239	110.730	43,55%

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

Nota: Os dados de número de pesquisadores por área da base DGP-CNPq contêm problemas significativos de dupla contagem. Por exemplo, para o ano de 2016, a base indica um total de 254.239 pesquisadores, enquanto o número total de pesquisadores era de 199.566.

A tabela 5 mostra a evolução das áreas selecionadas entre os anos 2000 e 2016. Três delas não contavam com nenhum grupo de pesquisa em 2000 (biotecnologia, ciências ambientais e robótica, mecatrônica e automação). Fora essas novas áreas, as cinco áreas com maior crescimento relativo entre os grupos de pesquisa na área da saúde 4.0 foram fisioterapia e terapia ocupacional (696%), farmácia (367%), ciência da informação (325%), saúde coletiva (273%) e nutrição (271%). As áreas com menor crescimento relativo no período foram biologia geral (55%), física (65%), parasitologia (68%), imunologia (72%) e biofísica (94%).

**Tabela 5 – Evolução das áreas selecionadas (2000-2016)**

Área	Grupos ano 2000	Grupos ano 2016	Variação (%)
<b>Áreas selecionadas inexistentes em 2000</b>			
BIOTECNOLOGIA	0	28	
CIÊNCIAS AMBIENTAIS	0	52	
ROBÓTICA, MECATRÔNICA E AUTOMAÇÃO	0	3	
<b>Áreas selecionadas com maior incremento</b>			
FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL	46	366	695.65
FARMÁCIA	103	481	366.99
CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO	61	259	324.59
SAÚDE COLETIVA	289	1079	273.36
NUTRIÇÃO	69	256	271.01
<b>Áreas selecionadas com menor incremento</b>			
BIOLOGIA GERAL	49	76	55.10
FÍSICA	486	801	64.81
PARASITOLOGIA	115	193	67.83
IMUNOLOGIA	101	174	72.28
BIOFÍSICA	46	80	73.91

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

A Tabela 6 apresenta a evolução do número de titulados como doutores e mestres em programas de pós-graduação no Brasil por ano para o período 1998-2019. Entre 2000 e 2019, o número de doutores titulados no Brasil aumentou 357% e o número de mestres, 204%. O crescimento foi proporcionalmente menor nas áreas selecionadas da saúde: 295% para o número de doutores titulados e 176% para o número de mestres. O padrão é similar ao do caso do número de grupos de pesquisa, pesquisadores e professores em programas de pós-graduação: todas as áreas apresen-

taram um forte crescimento nos anos 2000, mas o crescimento foi proporcionalmente menor nas áreas selecionadas da saúde.

**Tabela 6 – Titulados como doutores e mestres (total e em áreas selecionadas)**

Ano	Doutorado: total de titulados	Doutorado: titulados em áreas selecionadas	Doutorado: % de titulados em áreas selecionadas	Mestrado: total de titulados	Mestrado: titulados em áreas selecionadas	Mestrado: % de titulados em áreas selecionadas
1998	3.915	2.169	55,40%	12.351	5.785	46,84%
1999	4.831	2.736	56,63%	14.938	6.736	45,09%
2000	5.318	2.904	54,61%	17.611	7.824	44,43%
2001	6.040	3.243	53,69%	19.651	8.599	43,76%
2002	6.894	3.717	53,92%	23.457	9.969	42,50%
2003	8.094	4.481	55,36%	25.997	11.147	42,88%
2004	8.093	4.392	54,27%	24.755	10.612	42,87%
2005	8.989	4.900	54,51%	28.605	12.543	43,85%
2006	9.366	5.048	53,90%	29.742	12.981	43,65%
2007	9.915	53.28	53,74%	30.559	13.467	44,07%
2008	10.711	57.43	53,62%	33.360	14.571	43,68%
2009	11.368	6.108	53,73%	35.686	15.974	44,76%
2010	11.314	6.078	53,72%	36.247	16.582	45,75%
2011	12.321	6.666	54,10%	39.544	18.112	45,80%
2012	13.912	7.391	53,13%	42.878	20.033	46,72%
2013	15.650	7.890	50,42%	45.490	19.623	43,14%
2014	17.286	8.588	49,68%	46.245	19.391	41,93%
2015	18.996	9.450	49,75%	47.644	19.721	41,39%
2016	20.603	10.122	49,13%	49.002	19.935	40,68%
2017	21.591	10.516	48,71%	50.306	20.139	40,03%
2018	22.894	11.122	48,58%	51.610	20.962	40,62%
2019	24.280	11.477	47,27%	53.515	21.564	40,30%

Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

A Tabela 7 e a Figura 5 apresentam a evolução do número de bolsas de mestrado, doutorado e pós-doutorado no Brasil por ano para o período 1995-2019. Novamente, o crescimento da base científico-tecnológica nos anos 2000 merece ser destacado. A quantidade de bolsas de mestrado aumentou 279% entre 2000 e 2019 e a de bolsas de doutorado, 467%. Adicionalmente, as bolsas de pós-doutorado praticamente inexistentes no ano 2000, eram 6.237 em 2019, após ter alcançado um máximo de 7.486 em 2015. Em relação a isso, é importante destacar a queda de recursos

destinados a bolsas de pós-graduação entre 2015 e 2019: a quantidade de bolsas de mestrado e de pós-doutorado caiu, enquanto a de bolsas de doutorado permaneceu praticamente estancada. A parcela de bolsas destinadas às áreas selecionadas permaneceu relativamente estável no período.

Neste aspecto, cabe destacar que a literatura acadêmica destaca a importância das universidades e institutos de pesquisa de acordo com três funções principais: 1) Educação; 2) Pesquisa; e 3) Papel empreendedor das universidades (Mowery. Sampat, 2005; Etzkowitz. Leydesdorff, 2000). A função de ensino está diretamente relacionada à formação de recursos humanos e ao treinamento de pessoal em métodos de pesquisa. O capital humano é um fator essencial para o sucesso do esforço de inovação que ocorre dentro das empresas. A contratação de bacharéis, graduados e pós-graduados de universidades é considerada uma forma indireta de transferência de conhecimentos da academia para o setor produtivo (Mowery. Sampat, 2005). Gibbons e Johnston (1974) ressaltam a importância da figura do solucionador de problemas descrita como um profissional qualificado em métodos de pesquisa capaz de identificar, viabilizar e estimular o acesso às fontes internas e externas de conhecimento para a solução de problemas específicos surgidos ao longo dos processos de produção e inovação. A função de pesquisa está relacionada à reposição da base de conhecimentos e à expansão de oportunidades tecnológicas, propensa a ocorrer de forma mais intensiva em indústrias baseadas em conhecimento (Klevorick et al., 1995). O empreendedorismo acadêmico surge como uma terceira função das universidades dentro do arcabouço teórico do modelo da tripla hélice proposto por Etzkowitz e Leydesdorff (2000). A universidade empreendedora é definida como uma instituição capaz de gerar estratégias voltadas tanto à condução das atividades de ensino e pesquisa quanto à transferência de conhecimentos para fins econômicos e sociais (Etzkowitz. Leydesdorff, 2000; Oliver, 2008).

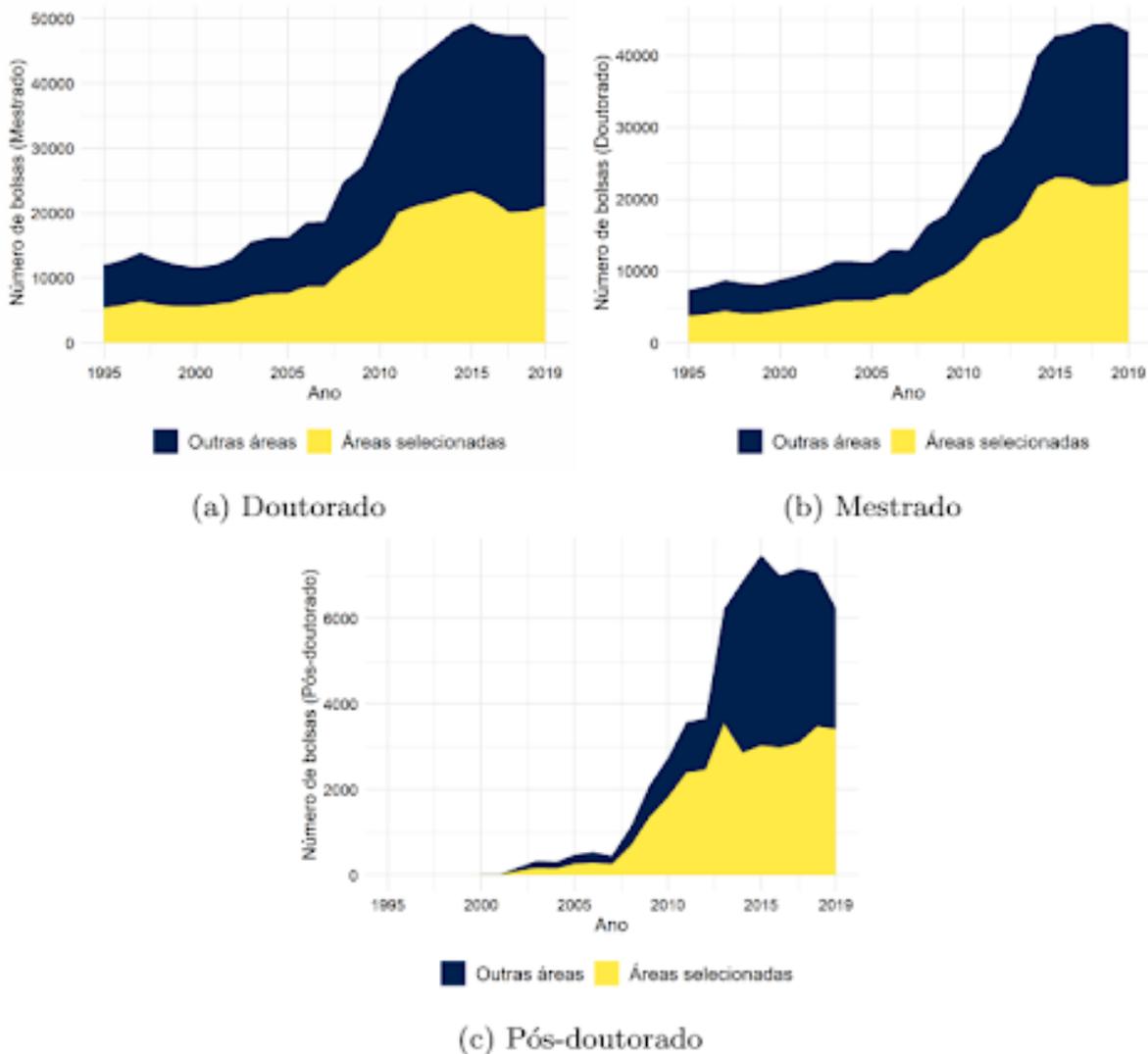
**Tabela 7 – Número de bolsas de mestrado, doutorado e pós-doutorado (total e em áreas selecionadas)**

Ano	Bolsas de mestrado: total	Bolsas de mestrado: áreas selecionadas	Bolsas de mestrado: % em áreas selecionadas	Bolsas de doutorado: total	Bolsas de doutorado: áreas selecionadas	Bolsas de doutorado: % em áreas selecionadas	Bolsas de pós-doutorado: total	Bolsas de pós-doutorado: áreas selecionadas	Bolsas de pós-doutorado: % em áreas selecionadas
1995	12.037	5.445	45,24%	7.388	3.754	50,81%	-	-	-
1996	12.734	5.842	45,88%	7.863	4.017	51,09%	-	-	-

1997	13.925	6.440	46,25%	8.771	4.420	50,39%	-	-	-
1998	12.800	5.889	46,01%	8.283	4.077	49,22%	-	-	-
1999	12.069	5.659	46,89%	8.143	4.140	50,84%	-	-	-
2000	11.669	5.676	48,64%	8.801	4.511	51,26%	20	15	75,00%
2001	12.002	5.959	49,65%	9.408	4.838	51,42%	20	9	45,00%
2002	13.054	6.306	48,31%	10.180	5.272	51,79%	179	99	55,31%
2003	15.635	7.258	46,42%	11.389	5.803	50,95%	336	177	52,68%
2004	16.200	7.556	46,64%	11.345	5.869	51,73%	302	158	52,32%
2005	16.226	7.682	47,34%	11.191	5.876	52,51%	479	258	53,86%
2006	18.614	8.711	46,80%	13.044	6.680	51,21%	541	296	54,71%
2007	18.720	8.755	46,77%	12.897	6.731	52,19%	453	252	55,63%
2008	24.789	11.429	46,11%	16.385	8.468	51,68%	1.131	687	60,74%
2009	27.192	13.059	48,03%	17.873	9.596	53,69%	2.088	1.350	64,66%
2010	33.357	15.265	45,76%	21.941	11.501	52,42%	2.734	1.819	66,53%
2011	41.054	20.091	48,94%	26.108	14.315	54,83%	3.580	2.401	67,07%
2012	43.591	21.199	48,63%	27.589	15.318	55,52%	3.663	2.461	67,19%
2013	45.754	21.826	47,70%	32.111	17.295	53,86%	6.217	3.539	56,92%
2014	48.113	22.797	47,38%	39.954	21.723	54,37%	6.879	2.860	41,58%
2015	49.353	23.352	47,32%	42.779	23.050	53,88%	7.486	3.034	40,53%
2016	47.830	22.166	46,34%	43.188	22.883	52,98%	6.999	2.982	42,61%
2017	47.510	20.159	42,43%	44.316	21.807	49,21%	7.168	3.093	43,15%
2018	47.478	20.349	42,86%	44.530	21.836	49,04%	7.075	3.483	49,23%
2019	44.232	21.097	47,70%	43.327	22.610	52,18%	6.237	3.417	54,79%

Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

Figura 5 – Número de bolsas de mestrado, doutorado e pós-doutorado



Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

A partir das informações disponíveis no último ano com dados disponíveis nas duas bases (DGP-CNPq e GeoCapes), buscou-se identificar as instituições com maior volume de recursos (grupos de pesquisa,<sup>11</sup> professores doutores em programas de pós-graduação, titulações em pós-graduação *stricto-sensu* e bolsas de pós-graduação) destinados a áreas selecionadas da saúde 4.0, e

<sup>11</sup> Por problemas de dupla contagem, a base de microdados do DGP-CNPq para o ano de 2016 não permite reproduzir essa análise de forma consistente para o número de pesquisadores.

instituições com maior participação dessas áreas nos seus recursos.<sup>12</sup> Em todos os casos, apresentamos os dados referentes às vinte instituições com maior volume ou proporção de recursos destinados a áreas selecionadas.

A Tabela 8 apresenta as vinte instituições com maior número de grupos de pesquisa em áreas selecionadas em 2016. Destaca-se a presença exclusivamente de instituições públicas: universidades federais, universidades estaduais de São Paulo e Paraná e a Fundação Oswaldo Cruz. Há instituições de todas as regiões, mas com preponderâncias das regiões Sul e Sudeste. Em algumas instituições, a proporção de grupos de pesquisa que atuantes em áreas selecionadas é superior a 50%: Universidade de São Paulo (USP), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz). Destacam-se a Unifesp (70,8% dos grupos em áreas selecionadas) e a Fiocruz (92,9% dos grupos em áreas selecionadas).

**Tabela 8 – Grupos de pesquisa (total e áreas selecionadas): instituições com maior volume de pesquisa em áreas selecionadas**

Instituição	Grupos de pesquisa: total	Grupos de pesquisa: áreas selecionadas	Grupos de pesquisa: % áreas selecionadas
Universidade de São Paulo	1.811	1.004	55,44%
Universidade Federal do Rio de Janeiro	1.200	621	51,75%
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho	1185	580	48,95%
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	873	417	47,77%
Universidade Federal Fluminense	844	348	41,23%
Universidade Estadual de Campinas	743	346	46,57%
Universidade Federal de Minas Gerais	705	345	48,94%
Fundação Oswaldo Cruz	366	340	92,90%
Universidade Federal de São Paulo	431	305	70,77%
Universidade Federal de Santa Catarina	701	284	40,51%
Universidade Federal de Pernambuco	625	282	45,12%
Universidade Federal do Paraná	555	260	46,85%
Universidade Federal de São Carlos	484	247	51,03%

<sup>12</sup> São excluídas da análise instituições pequenas (i.e., instituições com poucos grupos de pesquisa, professores e pós-graduandos).

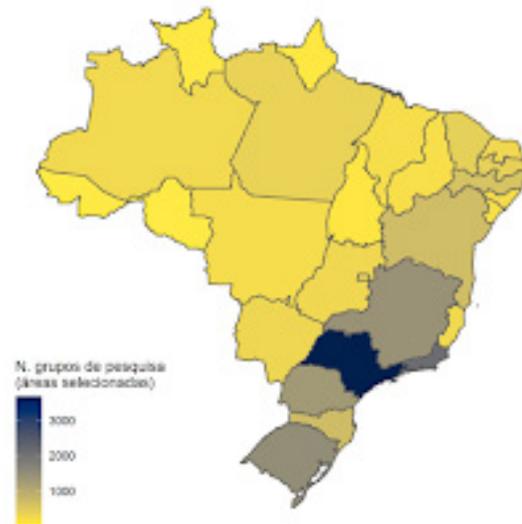
Universidade Federal da Bahia	504	224	44,44%
Universidade Estadual de Londrina	471	213	45,22%
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	461	211	45,77%
Universidade de Brasília	524	196	37,40%
Universidade Federal do Pará	535	193	36,07%
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	423	188	44,44%
Universidade Estadual de Maringá	380	180	47,37%

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

Nota: A tabela inclui o número de grupos de pesquisa (total e em áreas selecionadas) e a proporção em áreas selecionadas para as vinte instituições com maior número de grupos de pesquisa em áreas selecionadas. Os dados correspondem ao ano de 2016.

A Figura 6 mostra a distribuição geográfica dos grupos de pesquisa em áreas selecionadas. O Painel A mostra o total de grupos de pesquisa nessas áreas por estado e confirma a preponderância das regiões Sul e Sudeste, especialmente do estado de São Paulo (onde estão 23% do total de grupos de pesquisa do País em áreas selecionadas). O Painel B mostra a parcela dos grupos de pesquisa em cada unidade da federação (UF) que correspondem a grupos de pesquisa em áreas selecionadas como potencialmente relevante para à saúde 4.0. Neste caso, o mapa mostra que a participação de grupos nessas áreas varia de 17,8% em Rondônia (32 dos 180 grupos de pesquisa no estado) a 39,3% no Piauí (186 dos 473 grupos de pesquisa no estado). Enquanto em volume de grupos de pesquisa em áreas relevantes existe uma concentração nas regiões Sul e Sudeste, esta concentração é resultado do maior volume de grupos de pesquisa no geral nessas regiões e não de uma maior especialização nas áreas selecionadas como relevantes para saúde 4.0.

**Figura 6 - Grupos de pesquisa em áreas selecionadas por UF (total e porcentagem)**



(a) Total de grupos de pesquisa em áreas selecionadas



3

(b) % de grupos de pesquisa em áreas selecionadas

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

A Tabela 9 apresenta as vinte instituições com maior proporção de grupos de pesquisa em áreas selecionadas em 2016 (excluindo instituições com menos de vinte grupos de pesquisa em áreas selecionadas). Destaca-se a presença de instituições públicas e privadas de médio porte com pes-

quisa focada exclusivamente nas ciências da saúde (p. ex., Escola Superior de Ciências da Saúde, Instituto Butantan, Instituto Nacional do Câncer e Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein). Novamente, destaca-se a posição da Fiocruz e da Unifesp como instituições de grande porte com alta proporção de grupos de pesquisa atuando em áreas selecionadas.

**Tabela 9 – Grupos de pesquisa (total e áreas selecionadas): instituições com maior proporção de pesquisa em áreas selecionadas**

Instituição	Grupos de pesquisa: total	Grupos de pesquisa: áreas selecionadas	Grupos de pesquisa: % áreas selecionadas
Escola Superior de Ciências da Saúde	44	44	100,00%
Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo	42	42	100,00%
Instituto Butantan	33	33	100,00%
Instituto Evandro Chagas	24	24	100,00%
Instituto Israelita de Ensino e Pesquisa Albert Einstein	23	23	100,00%
Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto	22	22	100,00%
Instituto Nacional de Câncer	21	21	100,00%
Escola Bahiana de Medicina e Saúde Pública	31	30	96,77%
Hospital de Clínicas de Porto Alegre	72	68	94,44%
Fundação Oswaldo Cruz	366	340	92,90%
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais	34	31	91,18%
Fundação Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre	48	42	87,50%
Universidade Severino Sombra	24	21	87,50%
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas	24	20	83,33%
Universidade do Sagrado Coração	86	66	76,74%
Universidade Santa Cecília	29	22	75,86%
Centro Universitário Herminio Ometto de Araras	42	30	71,43%
Universidade Federal de São Paulo	431	305	70,77%
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia	59	40	67,80%
Universidade Ceuma	52	35	67,31%

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

Nota: A tabela inclui o número de grupos de pesquisa (total e em áreas selecionadas) e a proporção em áreas selecionadas para as vinte instituições com maior proporção de grupos de pesquisa em áreas selecionadas. Os dados correspondem ao ano de 2016. Foram excluídas instituições com menos de vinte grupos de pesquisa em áreas selecionadas.

A Tabela 10 apresenta as vinte instituições com maior número de professores atuando em programas de pós-graduação de áreas selecionadas no ano de 2019 e a proporção destes em relação ao total de professores da instituição. Destaca-se a presença exclusiva de universidades públicas de todas as regiões do País. A Fiocruz (80,8%), a Unifesp (67%) e a USP de Ribeirão Preto (90,3%) são, dentre as instituições com maior quantidade de professores de pós-graduação em áreas selecionadas, as instituições com maior proporção sobre o total.

**Tabela 10 – Professores permanentes (total e áreas selecionadas): instituições com maior volume de professores em áreas selecionadas**

Instituição	Professores permanentes	Professores permanentes em áreas selecionadas	% de professores permanentes em áreas selecionadas
USP	4.313	2.340	54,25%
UFRJ	2.976	1.626	54,64%
UFMG	2.322	1.252	53,92%
UNICAMP	2.143	1.134	52,92%
UFRGS	2.183	1.105	50,62%
USP/RP	1.024	925	90,33%
UNIFESP	1.362	912	66,96%
UNB	1.905	872	45,77%
UFPE	1.650	853	51,70%
UFPR	1.660	811	48,86%
UFC	1.410	806	57,16%
FIOCRUZ	947	765	80,78%
UFSC	1.728	754	43,63%
UFRN	1.513	735	48,58%
UFPA	1.488	703	47,24%
UFF	1.683	699	41,53%
UFBA	1.643	686	41,75%
UFG	1.389	670	48,24%
UFSCAR	1.031	524	50,82%
UERJ	1.304	512	39,26%

Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

Nota: A tabela inclui o número de professores permanentes com doutorado completo (total e em áreas selecionadas) e a proporção em áreas selecionadas para as vinte instituições com maior volume de professores atuando em programas de pós-graduação de áreas selecionadas. Os dados correspondem ao ano de 2019.

A Tabela 11 apresenta as vinte instituições com maior proporção de professores atuando em programas de pós-graduação de áreas de conhecimento selecionados como potencialmente relevantes para saúde 4.0 no ano de 2019 e a proporção destes em relação ao total de professores da instituição. Foram excluídas da análise instituições com menos de cem professores permanentes atuando em programas de pós-graduação de áreas de conhecimento identificadas como potencialmente relevantes para saúde 4.0. A lista está composta quase exclusivamente de universidades e institutos de pesquisa públicos (estaduais e federais). A única exceção é a Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo (FCMSCSP). Novamente, destaca-se a posição da Fiocruz, da USP de Ribeirão Preto e da Unifesp como instituições de grande porte com alta participação de recursos destinados a áreas de conhecimento identificadas como potencialmente relevantes para saúde 4.0.

**Tabela 11 – Professores permanentes (total e áreas selecionadas): instituições com maior proporção de professores em áreas selecionadas**

Instituição	Professores permanentes	Professores permanentes em áreas selecionadas	% de professores permanentes em áreas selecionadas
FCMSCSP-TI	100	100	100,00%
UNICAMP/PI	120	120	100,00%
USP/RP	1.024	925	90,33%
UFCSPA	219	191	87,21%
FIOCRUZ	947	765	80,78%
UNESP-BOT	587	452	77,00%
USP/SC	562	412	73,31%
UFTM	242	171	70,66%
INPA	185	126	68,11%
UNIFESP	1.362	912	66,96%
UNIFAL	310	187	60,32%
UFOPA	177	105	59,32%
UESC	343	203	59,18%
UNESP-SJRP	237	140	59,07%
UNESP-ARAR	391	227	58,06%
UFAM	672	390	58,04%
UFERSA	204	117	57,35%
UFC	1.410	806	57,16%
UEFS	323	183	56,66%
FUFPI	693	391	56,42%

Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

Nota: A tabela inclui o número de professores permanentes com doutorado completo (total e em áreas selecionadas) e a proporção em áreas selecionadas para as vinte instituições com maior proporção de professores atuando em programas de pós-graduação de áreas selecionadas. Foram excluídas instituições com menos de cem professores atuando em programas de pós-graduação de áreas selecionadas. Os dados correspondem ao ano de 2019.

A Tabela 12 apresenta as vinte instituições com maior número de doutores em programas de pós-graduação de áreas de conhecimento selecionados como potencialmente relevantes para saúde 4.0 no ano de 2019 e a proporção destes em relação ao total de professores da instituição. Novamente, universidades federais e estaduais aparecem como as principais formadoras de recursos humanos em áreas potencialmente relevantes para saúde 4.0. A Unifesp e a USP de Ribeirão Preto aparecem como unidades de grande porte que formam mais de 80% dos seus doutores em áreas selecionadas.

**Tabela 12 – Titulação de doutores e bolsas de doutorado (total e áreas selecionadas): instituições com maior número de doutores titulados em áreas selecionadas**

Instituição	Doutorado: titulados	Doutorado: titulados em áreas selecionadas	% de doutores titulados em áreas selecionadas	Bolsas de doutorado: total	Bolsas de doutorado: áreas selecionadas	% de bolsas de doutorado em áreas selecionadas
USP	1.884	991	52,60%	2.520	1.473	58,45%
UFMG	953	510	53,52%	1.647	898	54,52%
UFRJ	1.081	487	45,05%	1.780	917	51,52%
UNICAMP	926	443	47,84%	1.542	820	53,18%
UFRGS	953	432	45,33%	1.816	958	52,75%
USP/RP	402	376	93,53%	620	569	91,77%
UFPE	685	374	54,60%	923	494	53,52%
UFC	484	276	57,02%	886	559	63,09%
UNIFESP	330	270	81,82%	654	559	85,47%
UNB	669	258	38,57%	1.008	531	52,68%
UFRN	418	253	60,53%	761	497	65,31%
UFSC	670	247	36,87%	1.423	597	41,95%
UFPR	520	228	43,85%	1.401	634	45,25%
UERJ	504	219	43,45%	606	306	50,50%
UFPA	410	215	52,44%	741	417	56,28%
UFSCAR	402	213	52,99%	647	393	60,74%

UFG	348	205	58,91%	709	490	69,11%
UFBA	528	193	36,55%	775	357	46,06%
UNESP- -BOT	279	183	65,59%	446	342	76,68%
UEM	300	181	60,33%	611	381	62,36%

Fonte: Elaboração própria com base em GeoCapes.

Nota: A tabela inclui o número de doutores (total e em áreas selecionadas) e a proporção em áreas selecionadas para as vinte instituições com maior número de doutores titulados em programas de pós-graduação de áreas selecionadas. Os dados correspondem ao ano de 2019.

O ponto final da análise centra-se na identificação, a partir de uma busca parametrizada na base corrente do Diretório de Grupos de Pesquisa,<sup>13</sup> de todos os grupos de pesquisa que desenvolvem pesquisa diretamente relacionada com as tecnologias da revolução 4.0 e grupos de pesquisa que desenvolvem pesquisa relacionada com essas tecnologias e possíveis aplicações na área da saúde.

A Tabela 13 apresenta os resultados dessa busca. Foram identificados 965 grupos de pesquisa, distribuídos em 199 instituições, que contém pelo menos um dos termos vinculados com as tecnologias da revolução 4.0 detalhados na seção metodológica no nome do grupo, nas linhas de pesquisa ou nas palavras-chave associadas às linhas de pesquisa. Desses grupos, 13,2% (127 grupos distribuídos em 64 instituições) realizam pesquisa em áreas vinculadas com a aplicação das tecnologias da revolução 4.0 à saúde.

**Tabela 13 – Grupos de Pesquisa vinculados com as tecnologias da revolução 4.0 aplicáveis à saúde**

Número de grupos relacionados com as tecnologias 4.0	965
Número de instituições com grupos relacionados com as tecnologias 4.0	199
Número de grupos diretamente relacionados com saúde 4.0	127
Número de instituições com grupos diretamente relacionados com saúde 4.0	64

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

<sup>13</sup> Disponível em: <[http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta\\_parametrizada.jsf](http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf)>. [Informar data de acesso]

A Tabela 14 apresenta o número de grupos de pesquisa ligados a cada uma das tecnologias vinculadas à revolução 4.0 consideradas na análise e o número desses grupos que desenvolve pesquisa relacionada com a área da saúde. As tecnologias/tópicos que atraem a atenção do maior número de grupos são *machine learning*, internet das coisas, inteligência artificial, *big data* e computação em nuvem. Essas tecnologias, junto com a telemedicina, a cirurgia robótica e a impressão 3D são as que maior atenção atraem em relação à pesquisa relacionada com a área da saúde.

**Tabela 14 – Número de grupos de pesquisa vinculados com as tecnologias da revolução 4.0 aplicáveis à saúde**

Tecnologia 4.0	Número de grupos vinculados às tecnologias 4.0	Número de grupos vinculados à saúde 4.0
aprendizado de máquina/machine learning	316	26
internet das coisas/internet of things	279	10
inteligência artificial/artificial intelligence	234	22
metadados/big data	197	22
computação em nuvem/cloud computing	115	1
robôs/robots	85	3
aprendizado profundo/deep learning	82	6
impressão 3D/3D printing	82	24
realidade aumentada/augmented reality	69	4
telemedicina/telemedicine	43	43
cadeia de blocos/blockchain	36	0
veículos autônomos/autonomous vehicles	19	0
sistemas cognitivos/cognitive systems	9	2
robôs autônomos/autonomous robots	6	0
cirurgia robótica/robotic surgery	5	5
realidade mista/mixed reality	3	0
robôs colaborativos/collaborative robots	1	0

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

Nota: A tabela mostra o número de grupos de pesquisa vinculado com cada tecnologia da revolução 4.0 e o número vinculado com cada tecnologia e com a sua aplicação à área da saúde. Cada grupo pode estar vinculado com mais de uma tecnologia e, portanto, o número total excede ao número de grupos existente.

A Tabela 15 mostra o número de grupos de pesquisa vinculado às tecnologias da revolução 4.0 e com a aplicação delas na saúde para as vinte instituições com maior número de grupos de pesquisa diretamente vinculados com a aplicação das tecnologias no campo da saúde. A maior parte são instituições públicas, federais e estaduais. A Fundação Oswaldo Cruz, a USP e a Unifesp são as instituições com maior número de grupos de pesquisa diretamente vinculados com a saúde 4.0.

**Tabela 15 – Número de grupos de pesquisa vinculados com as tecnologias da revolução 4.0 aplicáveis à saúde por instituição**

Instituição	Número de grupos de pesquisa vinculados às tecnologias da revolução 4.0	Número de grupos de pesquisa vinculados com a saúde 4.0
Fundação Oswaldo Cruz	14	11
Universidade de São Paulo	55	10
Universidade Federal de São Paulo	22	10
Universidade Federal do Rio Grande do Sul	32	8
Universidade Federal do Rio de Janeiro	28	7
Universidade Federal do ABC	14	6
Universidade de Pernambuco	17	5
Universidade Federal de Alagoas	18	5
Universidade Federal de Mato Grosso	8	5
Universidade Federal de Santa Catarina	45	5
Universidade Federal do Espírito Santo	22	5
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	46	4
Hospital de Clínicas de Porto Alegre	3	3
Instituto Federal do Maranhão	8	3
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	19	3
Universidade de Brasília	34	3
Universidade de Mogi das Cruzes	3	3
Universidade Estadual de Campinas	47	3
Universidade Federal de Pernambuco	27	3
Universidade Federal Fluminense	21	3

Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

Nota: A tabela mostra o número de grupos de pesquisa vinculado as tecnologias da revolução 4.0 e com a aplicação delas na saúde para as 20 instituições com maior número de grupos de pesquisa diretamente vinculados com a aplicação das tecnologias no campo da saúde.

Embora o objetivo deste trabalho não seja apresentar uma descrição detalhada desses grupos, alguns exemplos podem ser relevantes para ilustrar o escopo dos grupos de pesquisa dedicados à saúde 4.0. Os exemplos provêm das informações autodeclaradas pelos grupos e incluídas na base corrente do Diretório de Grupos de Pesquisas. Por exemplo, o grupo Telemedicina, Tecnologias Educacionais e eHealth da Universidade de São Paulo realiza pesquisas sobre aplicação de tecnologias educacionais interativas na educação em saúde, incluindo telemedicina, uso de impressoras 3D e realidade aumentada. Outro exemplo são grupos que desenvolvem ferramentas computacionais vinculadas à bioinformática e à saúde, como o Grupo de Engenharia de Proteínas e Soluções para Saúde e o grupo Utilização de técnicas de biologia molecular, bioquímica e bioinformática para pesquisa clínica translacional de vírus, em especial dos retrovírus e arbovírus humanos da Fundação Oswaldo Cruz.

#### **4. Interação entre instituições de pesquisa e setor produtivo no contexto do CEIS 4.0**

##### **4.1. Aspectos metodológicos**

A fim de avaliar a evolução da estrutura brasileira de CT&I em áreas correlatas às atividades relacionadas à saúde 4.0 e suas interações com a esfera produtiva no contexto do Complexo Econômico Industrial da Saúde, o estudo se baseou em dados coletados do Diretório dos Grupos de Pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (DGP-CNPq). Em particular, a análise focaliza as áreas de conhecimento consideradas relevantes para sustentar as aplicações de técnicas e conhecimentos característicos da revolução 4.0 no campo da saúde (Tabela A1 no Anexo).

Além das características da base DGP-CNPq já mencionadas, é necessário destacar que a base disponibiliza: i) nome do grupo de pesquisa, nome da instituição acadêmica, área de conhecimento e localização geográfica do grupo de pesquisa que interagiu com alguma empresa ou instituição; e ii) razão social, CNPJ, Cnae e localização dos parceiros produtivos envolvidos em relacionamentos universidade-empresa; e iii) tipos de interações universidade-indústria estabelecidos.

Foram considerados quatorze tipos de relacionamento entre empresas ou instituições e gru-

pos de pesquisa: pesquisa científica sem considerações de uso imediato dos resultados; pesquisa científica com considerações de uso imediato dos resultados; atividades de engenharia não rotineira (inclusive o desenvolvimento de protótipo cabeça de série ou planta-piloto para o parceiro); atividades de engenharia não rotineira (inclusive o desenvolvimento/fabricação de equipamentos para o grupo); desenvolvimento de software não rotineiro para o grupo pelo parceiro; desenvolvimento de software para o parceiro pelo grupo; transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro; transferência de tecnologia desenvolvida pelo parceiro para o grupo; atividades de consultoria técnica não contempladas nos demais tipos; fornecimento, pelo parceiro, de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo sem vinculação a um projeto específico de interesse mútuo; fornecimento, pelo grupo, de insumos materiais para as atividades do parceiro sem vinculação a um projeto específico de interesse mútuo; treinamento de pessoal do parceiro pelo grupo incluindo cursos e treinamento “em serviço”; treinamento de pessoal do grupo pelo parceiro incluindo cursos e treinamento “em serviço”; outros tipos predominantes de relacionamento que não se enquadrem em nenhum dos anteriores.

A base de dados do DGP-CNPq está sujeita a um problema de dupla contagem, podendo gerar um viés de superestimação em alguns indicadores agregados. Cada pesquisador pode ser registrado em até três grupos de pesquisa diferentes; cada empresa ou instituição parceira pode estabelecer relacionamentos com mais de um grupo de pesquisa e é admitida a classificação de até três tipos de relacionamentos por interação “universidade-empresa”.<sup>14</sup> Cabe ressaltar que esta base de dados é construída a partir da autodeclaração dos grupos de pesquisa. Tal fato tende a gerar um viés de subestimação das interações universidade-empresa (Alves, 2017). Apesar das referidas limitações, o diretório do CNPq ainda representa um dos melhores indicadores da estrutura científico-tecnológica brasileira.

A análise apresentada nesta seção I se baseou na utilização dos microdados do Censo 2016 do DGP-CNPq,<sup>15</sup> referente ao período 2014-2016 e às áreas de conhecimento selecionadas,

---

14 Apesar da base de dados propor a identificação de interações entre grupos de pesquisa acadêmica e empresas, identifica-se a presença de diversas instituições acadêmica e órgãos da administração pública entre a lista de possíveis parceiros em interações com grupos de pesquisas cadastrados no DGP-CNPq (Vargas, Britto, 2016).

15 O estudo da evolução dos relacionamentos no tempo não é possível devido à indisponibilidade dos microdados de interação para os demais censos, embora os indicadores agregados por áreas de conhecimento estejam disponíveis para o período 2002-2010 no plano tabular do diretório do CNPq.

considerando os tipos de relacionamento estabelecidos, as áreas de conhecimento envolvidas nas interações e os grupos de pesquisa e instituições acadêmicas que atuam como centros de convergência de informações em função da centralidade e da posição hierárquica dentro das redes de colaboração universidade-empresa.

## 4.2. Análise dos resultados

A partir das informações do Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq, foram identificadas 26 mil interações universidade-empresa envolvendo 453 instituições brasileiras de C&T e quase cinco mil instituições parceiras em áreas de conhecimento potencialmente críticas para sustentar o processo de PD&I em saúde 4.0.<sup>16</sup> Cerca de 15% dessas interações envolveram a utilização ou registro de softwares.

As grandes áreas de ciências da saúde e biológicas representam 55% das interações em áreas de conhecimento selecionadas, 83% das instituições envolvidas em relacionamentos universidade-empresa e 56% das instituições parceiras. As 1.391 interações em ciências da saúde e biológicas com utilização e registro de software envolvendo 140 instituições brasileiras de C&T e 635 instituições parceiras representam um indicador importante das instituições e empresas potencialmente relevantes para a geração, aplicação e uso dos conhecimentos que amparam os avanços em saúde 4.0 no Brasil (Tabela 16).

**Tabela 16 – Instituições de pesquisa e parcerias com o setor produtivo**

	Número de registros	Número de instituições	Número de instituições parceiras
Software registrado ou não registrado em ciências da saúde e ciências biológicas	1.391	140	635
Software registrado ou não registrado em todas as áreas selecionadas	3.909	259	1.609
Ciências da saúde e ciências biológicas	14.398	374	2.749
Todas as áreas selecionadas	26.051	453	4.912

As áreas de conhecimento selecionadas que se destacam pela maior proporção de interações universidade-empresa são: medicina, ciência da computação, saúde coletiva, química e engenharia elétrica. Quando analisado o indicador de uso ou registro de software para a realização das ativi-

<sup>16</sup> Os dados não apresentam dupla contagem no número de instituições e instituições parceiras.

dades de P&D dos grupos de pesquisa envolvidos nas interações, destacam-se as áreas de ciência da computação, medicina, física, matemática, química e engenharia elétrica. A elevada proporção de interações envolvendo utilização de softwares em medicina indica a potencialidade deste campo de conhecimento para o desenvolvimento em saúde 4.0. Destaca-se, ainda, a identificação de 124 instituições parceiras que interagem com 23 instituições de C&T em genética com uso ou registro de softwares em atividades de PD&I. Portanto, as áreas de conhecimento com maior potencialidade para sustentar os avanços em C&T no Brasil são atualmente medicina e genética (Tabela 17).

É necessário ressaltar, contudo, que para o desenvolvimento das aplicações em saúde 4.0 é fundamental uma elevada interdisciplinaridade na condução de pesquisas com a utilização conjunta através de combinações de peças de conhecimento científico e tecnológico de ciências da saúde e biológicas aliadas a conhecimentos provenientes das ciências exatas e da terra, ciências sociais aplicadas e engenharias; especialmente aquelas relacionadas às ciências da computação e da informação. Neste sentido, as redes e os transbordamentos de conhecimentos da esfera da ciência para a esfera da tecnologia estabelecidos através de interações universidade-empresa devem envolver empresas conectadas a grupos de pesquisa de múltiplas áreas de conhecimento para efetivamente promover o avanço das aplicações no campo da saúde 4.0.

**Tabela 17 – Instituições de pesquisa e parcerias com o setor produtivo segundo área de conhecimento**

Grande área de conhecimento	Área de conhecimento	Totais CNPq em áreas de conhecimento selecionadas	Interações envolvendo software registrado ou não registrado	Número de registros	Número de instituições	Número de instituições parceiras	Número de registros	Número de instituições	Número de instituições parceiras					
Ciências Agrárias	MEDICINA VETERINÁRIA	928	4%	115	25%	415	8%	70	2%	21	8%	50	3%	
	ZOOTECNIA	789	3%	110	24%	354	7%	134	3%	27	10%	87	5%	
Ciências Biológicas	BIOFÍSICA	135	1%	34	7%	73	1%	27	1%	11	4%	22	1%	
	BIOLOGIA GERAL	133	1%	58	13%	78	2%	14	0%	7	3%	14	1%	
	BIOQUÍMICA	827	3%	116	25%	371	8%	68	2%	24	9%	48	3%	
	BIOTECNOLOGIA	54	0%	25	5%	38	1%	11	0%	4	2%	9	1%	
	BOTÂNICA	501	2%	102	22%	244	5%	52	1%	20	8%	45	3%	
	ECOLOGIA	1.003	4%	178	39%	453	9%	128	3%	37	14%	92	6%	
	FARMACOLOGIA	380	1%	79	17%	187	4%	22	1%	9	3%	18	1%	
	FISIOLOGIA	406	2%	78	17%	180	4%	42	1%	12	5%	33	2%	
	GENÉTICA	809	3%	123	27%	366	7%	155	4%	23	9%	124	8%	
	IMUNOLOGIA	328	1%	51	11%	156	3%	38	1%	7	3%	36	2%	
	MICROBIOLOGIA	665	3%	113	25%	294	6%	52	1%	9	3%	47	3%	
	MORFOLOGIA	371	1%	78	17%	163	3%	9	0%	6	2%	5	0%	
Ciências da Saúde	PARASITOLOGIA	465	2%	67	15%	232	5%	40	1%	6	2%	37	2%	
	ZOOLOGIA	582	2%	110	24%	239	5%	69	2%	16	6%	54	3%	
	ENFERMAGEM	903	3%	138	30%	259	5%	81	2%	22	8%	44	3%	
	FARMÁCIA	845	3%	111	24%	361	7%	70	2%	20	8%	53	3%	
	FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL	530	2%	106	23%	189	4%	63	2%	20	8%	45	3%	
	FONOAUDIOLOGIA	115	0%	30	7%	39	1%	10	0%	4	2%	5	0%	
	MEDICINA	2.410	9%	185	41%	704	14%	243	6%	54	21%	149	9%	
	NUTRIÇÃO	378	1%	101	22%	164	3%	35	1%	11	4%	25	2%	
	ODONTOLOGIA	770	3%	109	24%	241	5%	46	1%	21	8%	25	2%	

	SAÚDE COLETIVA	1.788	7%	226	50%	565	12%	116	3%	37	14%	57	4%
Ciências Exatas e da Terra	CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	1.686	6%	217	48%	675	14%	941	24%	158	61%	458	28%
	FÍSICA	1.261	5%	148	32%	413	8%	191	5%	55	21%	114	7%
	MATEMÁTICA	590	2%	138	30%	123	3%	83	2%	43	17%	33	2%
	PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA	133	1%	65	14%	38	1%	24	1%	17	7%	12	1%
	QUÍMICA	2.106	8%	173	38%	720	15%	165	4%	47	18%	106	7%
Ciências Humanas	PSICOLOGIA	1.243	5%	170	37%	373	8%	83	2%	24	9%	53	3%
Ciências Sociais Aplicadas	CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO	365	1%	66	14%	152	3%	100	3%	23	9%	65	4%
Engenharias	ENGENHARIA BIOMÉDICA	266	1%	61	13%	172	4%	113	3%	33	13%	85	5%
	ENGENHARIA DE TRANSPORTES	118	0%	38	8%	69	1%	23	1%	9	3%	19	1%
	ENGENHARIA ELÉTRICA	1.356	5%	159	35%	588	12%	504	13%	85	33%	300	19%
	ENGENHARIA QUÍMICA	712	3%	101	22%	391	8%	74	2%	24	9%	55	3%
Outras	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	97	0%	45	10%	60	1%	13	0%	3	1%	12	1%
	ROBÓTICA, MECATRÔNICA E AUTOMAÇÃO	3	0%	3	1%	1	0%		0%		0%		0%
Totais selecionadas	26.051	100%	456	100%	4.912	100%	3.909	100%	259	100%	1.609	100%	
Totais CNPq	57.331		531		8806		6782		316		2.609		
Totais selecionadas/Totais CNPq	45%		86%		56%		58%		82%		62%		

Apesar de se destinar à análise das interações universidade-empresa, a base de dados do DGP-CNPq engloba uma amostra maior de atores ou componentes do Sistema Nacional de Inovação e do próprio Complexo Econômico Industrial da Saúde, conforme compatibilização<sup>17</sup> nas seguintes categorias: 1. Governo; 2. Universidades, Faculdades e Institutos de Pesquisa; 3. Associações, Sindicatos, Sistema S, Sebrae, Organizações; 4. Cooperativas; 5. Universidades e Instituições de pesquisa estrangeiras; 6. Empresas nacionais; 7. Empresas multinacionais; 8. Bancos; 9. Institui-

<sup>17</sup> Conforme metodologia desenvolvida e informações cordialmente disponibilizadas pelo Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, da Universidade Federal de Minas Gerais (Cedeplar-UFMG), sob coordenação da professora Márcia Rapini.

ções e Organismos estrangeiros; 10. Empresas públicas; 11. Fundações; 12. Hospitais; 13, Hospitais estrangeiros; 14. Governo estrangeiro; 15. Associações estrangeiras.

De acordo com cada categoria, destacam-se as 559 interações dos grupos de pesquisa nas áreas de conhecimento selecionadas com 249 agências e instituições governamentais como, por exemplo, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (70), o Ministério da Saúde (33), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (18), a Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (18), a Secretaria de Vigilância em Saúde (15), o Instituto Nacional de Tecnologia (12), a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (9), o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (9), e a Superintendência de Pesquisa Industrial (9), além de prefeituras, secretarias estaduais e municipais, entre muitos outros.

Um total de 9.878 interações estritamente acadêmicas entre grupos de pesquisa de diversas universidades e grupos de pesquisa, envolvendo 1.527 instituições parceiras como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (298), Universidade de São Paulo (279), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (175), a Universidade Federal de Minas Gerais (142), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (140), a Fundação Oswaldo Cruz (127), a Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (119), a Universidade Estadual de Campinas (113), a Universidade Federal da Bahia (110), a Universidade Federal de São Paulo (109), a Universidade Federal do Paraná (108) e a Universidade de Brasília (100).

As 423 interações com 308 associações, sindicatos, sistema S, Sebrae, organizações, como, por exemplo, o Instituto Lactec (6), o Instituto D'Or de Pesquisa e Ensino (5), o Instituto Social Hospital de Câncer de Barretos (5), a Irmandade da Santa Casa de Misericórdia de Porto Alegre (5), o Instituto do Câncer Infantil do Rio Grande do Sul (4), o Instituto Senai de Inovação em Eletroquímica (4), a Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro (4), a Associação Brasileira de Saúde Coletiva (3), a Associação Cidade da Ciência, Tecnologia e Educação (3), a Drugs For Neglected Diseases América Latina (3), o Instituto Brasileiro de Controle do Câncer (3), o Instituto Senai de Inovação em Engenharia de Polímeros Cetepo (3), o Instituto Sírio-Libanês de Ensino e Pesquisa (3), a Associação Brasileira de Educação Médica (2), a Associação Brasileira de Indústria Química (2) e a Associação Brasileira de Informática (2). Além de 50 interações com 37 cooperativas, em sua maioria agroindustriais.

Cerca de 1.901 interações com 909 universidades e instituições de pesquisa estrangeiras, dentre elas: Universidade do Porto (17), Universidade de Aveiro (14), Universidad Autónoma de Madrid (13), Universidad de Buenos Aires (13), Universidad de la Republica [Uruguai] (13), a Universitat de Barcelona (12), Karolinska Institutet (11), McGill University (11), University of Oxford (11), entre muitas outras. E, ainda, 121 interações com 54 instituições e organismos estrangeiros, como a Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde (15), Centers for Disease Control and Prevention (7), US National Institutes of Health (7), World Health Organization (6), US National Cancer Institute (5), Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud (4), US National Institute of Allergy and Infectious Diseases (4), entre outras.

Além de 1.527 interações com 1.138 empresas nacionais de diversas atividades econômicas como, por exemplo, Cristália Produtos Químicos e Farmacêuticos (13), Apis Flora Industrial Comercial (6), Conexão Sistemas de Próteses (6), DMC Equipamentos (6), Intelbras S/A (6), Tanac (6), Biozeus Desenvolvimento de Produtos Biofarmaceuticos (5), Lifemed Industrial de Equipamentos e Artigos Médicos Hospitalares (5), Natura Inovação e Tecnologia de Produtos (5), Nortec Química S.A. (5), Quatro G Pesquisa e Desenvolvimento (5), Laboratório Farmacêutico do Estado de Pernambuco (4), Libbs Farmacêutica (4), MM Optics (4), Opto Eletrônica (4), Aptor Consultoria e Desenvolvimento de Software (3), AQX Instrumentação Eletrônica S.A. (3), Austen Farmacêutica (3), Bioenzima Indústria e Comércio (3), Braile Biomédica Indústria Comércio e Representações (3), Coester Automação (3), COI Clínicas Oncológicas Integradas (3), Dígito Tecnologia (3), FGM Produtos Odontológicos (3), Gnatus Equipamentos Médico-Odontológicos (3), Hygeia (3), Inovamat, Inovações em Materiais (3), Ja! Indústria e Comércio de Produtos e Serviços de Tecnologia da Informação (3), Laboratório Ibase (3), Neodent Implantes Osseointegráveis (3), Novartis Biociencias (3), Ophthalmos Indústria e Comércio de Produtos Farmacêuticos (3), Orbital Engenharia (3), Prati-Donaduzzi (3), Probiom Tecnologia - P & D Experimental em Ciências Físicas e Naturais (3). Além das 431 com 257 empresas multinacionais, como: Padtec - Optical Components and Systems (8) Ericsson Telecomunicações (6), GlaxoSmithKline (6), Hewlett-Packard Brasil (6), Dell Computadores do Brasil (5), Intel Semicondutores do Brasil (5), Samsung Eletrônica da Amazônia (5), Alta Genetics do Brasil (4), Bayer (4), Eli Lilly do Brasil (4), EMG System do Brasil (4), Ericsson Telecomunicações – Indaiatuba (4), Instituto Nokia de Tecnologia (4), Prysmian Telecomunicações Cabos e Sistemas do Brasil (4), Agilent Technologies Brasil (3), BiotechCell (3), Draktel Optical Fibre (3), Engineering Simulation and Scientific

Software (3), Evonik Degussa Brasil (3), Furukawa Industrial Produtos Elétricos (3), Huawei do Brasil Telecomunicações (3), Johnson & Johnson Medical Brasil (3), Merck Sharp & Dohme Farmacêutica (3), National Instruments Brazil (3), Novozymes Latin America (3) e Abbott Laboratórios do Brasil (2). As interações com empresas públicas também são frequentes, embora envolvam em maior grau empresas dos setores de petróleo e gás, energia elétrica e agropecuária.

Dentre a listagem de 166 fundações e 115 hospitais envolvidos em cerca de 821 grupos de pesquisa do DGP-CNPq em áreas de conhecimento selecionados, destacam-se: o Centro de Pesquisas René Rachou (29), a Fundação Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre (26), o Instituto Nacional de Câncer (25), o Hospital de Clínicas de Porto Alegre (20), a Fundação Ezequiel Dias (16), o Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães (13), o Centro de Pesquisas Gonçalo Moniz (13), a Fundação de Medicina Tropical Doutor Heitor Vieira Dourado (12), o Centro de Pesquisas Leonidas e Maria Deane (11), o Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina de Botucatu (11), a Fundação Oswaldo Ramos (10), a Fundação Hemocentro de Ribeirão Preto (8), o Hospital AC Camargo (7), a Fundação de Hematologia e Hemoterapia de Pernambuco (6), a Fundação Hemominas (6) e o Hospital de Clínicas da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (Uerj) - Hospital Pedro Ernesto (6), além das fundações de amparo à pesquisa de diversas universidades e unidades da federação brasileiras. Destacam-se ainda, 12 interações com 11 hospitais estrangeiros.

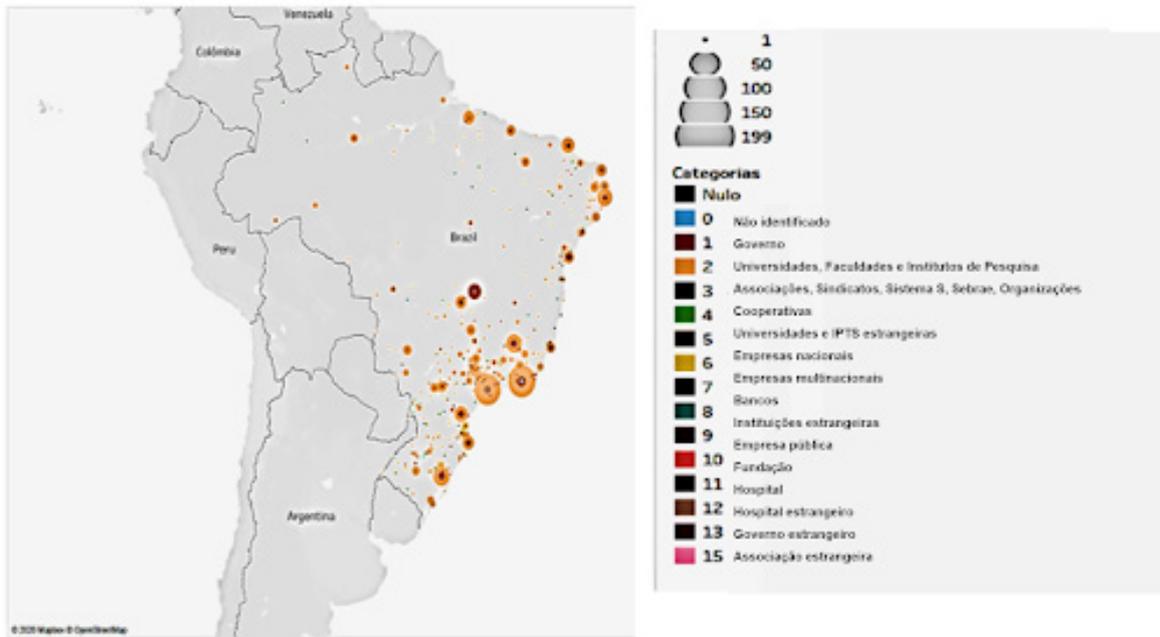
Apesar da demonstrada capilaridade da estrutura de ciência e tecnologia brasileira interligada a uma diversificada gama de empresas e componentes do Sistema Nacional de Inovação Brasileiro em áreas de conhecimento consideradas potencialmente críticas para o desenvolvimento de inovação em saúde e em saúde 4.0, a interdisciplinaridade dessas interações encontra-se consideravelmente restrita a relações estritamente acadêmicas envolvendo universidades e institutos de pesquisa nacionais e internacionais nas áreas de medicina, ciências da computação e engenharia elétrica, conforme evidenciado na Figura 7. Em menor grau, é possível observar a participação das empresas nacionais envolvidas em interações com as áreas de ciências da computação e engenharia elétrica. Entretanto, para que haja capacitações nacionais em áreas de conhecimento potencialmente críticas para o desenvolvimento de novos produtos e serviços em saúde 4.0 é imperativo que continuem os avanços acadêmicos das múltiplas áreas de ciências da saúde, biológicas, engenharias e áreas de conhecimento de tecnologias da informação e comunicação.

**Figura 7 – Interações universidade-empresa por categorias de atividade e áreas de conhecimento**



Por sua vez, a distribuição geográfica das instituições parceiras em áreas de conhecimento selecionadas é apresentada na Figura 8. A elevada concentração nas regiões Sul e Sudeste, especialmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, bem como em toda a zona litorânea do País é compatível com as assimetrias regionais e com padrão de desenvolvimento industrial e econômico brasileiro. Uma maior dispersão e interiorização das interações é verificada especialmente em interações estritamente acadêmicas com universidades e institutos de pesquisa atuando como instituições parceiras.

**Figura 8 – Dispersão geográfica das instituições parceiras dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq por grupos de atividade**



Fonte: Elaboração própria com base em DGP-CNPq.

Na Figura 9 é possível observar a rede de interações universidade-empresa conformada a partir da seleção das áreas de conhecimento potencialmente críticas ao desenvolvimento científico-tecnológico em saúde 4.0. As instituições que assumem posições de centralidade na conformação da estrutura da rede são supostamente aquelas com maior capacitação em temas relacionados à saúde 4.0 e, também, as instituições mais capazes de atuar no adensamento das redes, amplificando os transbordamentos de conhecimento entre a esfera da ciência e a esfera da tecnologia. Neste sentido, destacam-se a Universidade de São Paulo, a Fundação Oswaldo Cruz, a Universidade Federal Paulista Júlio de Mesquita Filho e a Universidade Federal do Rio de Janeiro. Cabe ressaltar que, apesar do prestígio e da centralidade dessas instituições, para que os avanços científicos nas áreas de conhecimento selecionadas e os transbordamentos de conhecimentos através de interações com empresas e outras instituições efetivamente gerem novas aplicações em saúde 4.0, é imperativo o estímulo a esforços interdisciplinares e multidisciplinares, especialmente aqueles que combinam áreas de conhecimento de ciência da computação, informação e comunicação com as áreas de ciências da saúde e biológicas.

**Figura 9 – Rede de interações universidade-empresa em áreas potencialmente críticas ao desenvolvimento científico-tecnológico**



Quando analisados os tipos de interação estabelecidos, cerca de 20% das interações se concentram na realização de pesquisa científica com ou sem considerações de uso imediato dos resultados (pesquisa básica e aplicada). Observa-se ainda um número relevante de instituições envolvidas em atividades de fornecimento, pelo parceiro, de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo sem vinculação a um projeto específico; transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro e treinamento de pessoal do grupo pelo parceiro, incluindo cursos e treinamento “em serviço”. Desde a ótica do número de instituições parceiras, destacam-se, além das atividades de pesquisa básica e aplicada, a transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro; o fornecimento, pelo parceiro, de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo sem vinculação a um projeto específico e outros tipos predominantes de relacionamento. Cabe ressaltar que, dadas as características dos processos de aprendizado, para que os fluxos de conhecimento sejam efetivos é necessário que se estabeleçam relações bidirecionais (do parceiro para o grupo e do grupo para o parceiro) ou não direcionadas (como codesenvolvimento de pesquisa). Os dados apresentados na Tabela 18 apresentam dupla-contagem, uma vez que cada interação pode estar relacionada a até três categorias de tipos de interação.

Cabe ressaltar que a natureza de coleta dos dados apresentados na Tabela 16 e na Tabela 18 é distinta, apesar de os dados serem provenientes da mesma base de dados. Na Tabela 16 são apresentados dados sobre utilização ou registro de software para desenvolvimento das atividades dos grupos de pesquisa, independente de interações universidade-empresa. Na Tabela 18, os grupos de pesquisa que interagiram com empresas podem classificar até três vezes subsequentes o motivo de cada interação realizada com base nas 14 classificações apresentadas abaixo, conforme a disponibilidade dos dados coletados.

**Tabela 18 – Número de registros, instituições e instituições parceiras por tipos de interação universidade-empresa**

Tipos de interação	Número de registros	Número de instituições	Número de instituições parceiras
Atividades de consultoria técnica não englobadas em qualquer das categorias anteriores	726	272	655
Atividades de engenharia não rotineira, inclusive o desenvolvimento de protótipo, cabeça de série ou planta-piloto para o parceiro	222	114	213
Atividades de engenharia não rotineira, inclusive o desenvolvimento/fabricação de equipamentos para o grupo	128	88	127
<b>Desenvolvimento de software não rotineiro para o grupo pelo parceiro</b>	<b>179</b>	<b>101</b>	<b>174</b>
<b>Desenvolvimento de software para o parceiro pelo grupo</b>	<b>286</b>	<b>143</b>	<b>263</b>
Fornecimento, pelo grupo, de insumos materiais para as atividades do parceiro sem vinculação a um projeto específico de interesse mútuo	243	148	220
Fornecimento, pelo parceiro, de insumos materiais para as atividades de pesquisa do grupo sem vinculação a um projeto específico de interesse mútuo	1.164	396	958
Outros tipos predominantes de relacionamento que não se enquadrem em nenhum dos anteriores.	1.561	430	1.155
Pesquisa científica com considerações de uso imediato dos resultados	6.497	498	3.233
Pesquisa científica sem considerações de uso imediato dos resultados	8.955	352	2.936
Transferência de tecnologia desenvolvida pelo grupo para o parceiro	1.349	329	1.172
Transferência de tecnologia desenvolvida pelo parceiro para o grupo	713	268	613
Treinamento de pessoal do grupo pelo parceiro, incluindo cursos e treinamento “em serviço”	862	293	683
Treinamento de pessoal do parceiro pelo grupo, incluindo cursos e treinamento “em serviço”	855	268	689
NA	54.413	1.305	7.801
<b>Total geral</b>	<b>78.153</b>	<b>5.005</b>	<b>20.892</b>

## 5. Caracterização e avaliação de esforços de capacitação dos segmentos do CEIS.

### 5.1. Aspectos metodológicos

A análise de patentes apresentada nesta seção está baseada em dados extraídos em 21 de setembro de 2020 da base de dados Questel Orbit, segundo famílias de patentes selecionadas a partir de um dicionário de palavras-chave relacionadas à revolução 4.0 e às ciências da vida. O dicionário de palavras-chave relacionadas à revolução 4.0<sup>18</sup> foi elaborado a partir de síntese publicada por Lopes et al. (2019). As palavras-chave relacionadas à saúde são um conjunto de termos relacionados às disciplinas de ciências da vida<sup>19</sup> indexadas

18 “3D printing” OR “artificial intelligence” OR “machine learning” OR “cognitive systems” OR “deep learning” OR “augmented reality” OR “mixed reality” OR “autonomous robots” OR “autonomous vehicles” OR “blockchain” OR “cloud computing” OR “internet of things” OR “telemedicine” OR “robotic surgery” OR “robots” OR “big data” or “collaborative robots” OR “impressão 3D” OR “inteligência artificial” OR “aprendizado de máquina” OR “sistemas cognitivos” OR “aprendizado profundo” OR “realidade aumentada” OR “realidade mista” OR “robôs autônomos” OR “veículos autônomos” OR “cadeia de blocos” OR “computação em nuvem” OR “internet das coisas” OR “telemedicina” OR “cirurgia robótica” OR “robôs” OR “metadados” OR “robôs colaborativos”.

19 “human health” OR “saúde” or “medical” OR “medicine” OR “médico” or “médica” OR “medicina” OR “Allergy” OR “Anatomy” OR “Morphology” OR “Anesthesiology” OR “Biochemistry” OR “Molecular Biology” OR “Biophysics” OR “Biotechnology” OR “Applied Microbiology” OR “Cardiovascular System” OR “Cardiology” OR “Cell Biology” OR “Critical Care Medicine” OR “Dentistry, Oral Surgery” OR “Medicine” OR “Dermatology” OR “Developmental Biology” OR “Emergency Medicine” OR “Endocrinology” OR “Metabolism” OR “Entomology” OR “Evolutionary Biology” OR “Gastroenterology” OR “Hepatology” OR “Genetics” OR “Heredity” OR “Immunology” OR “Life Sciences Biomedicine Other Topics” OR “Medical Informatics” OR “Medical Laboratory Technology” OR “Microbiology” OR “Mycology” OR “Neurosciences” OR “Neurology” OR “Nursing” OR “Nutrition” OR “Dietetics” OR “Obstetrics” OR “Gynecology” OR “Oncology” OR “Ophthalmology” OR “Orthopedics” OR “Otorhinolaryngology” OR “Parasitology” OR “Pathology” OR “Pediatrics” OR “Pharmacology” OR “Pharmacy” OR “Physiology” OR “Plant Sciences” OR “Psychiatry” OR “Public Health” OR “Environmental Health” OR “Occupational Health” OR “Radiology” OR “Nuclear Medicine” OR “Medical Imaging” OR “Rehabilitation” OR “Reproductive Biology” OR “Medicine Research” OR “Experimental Medicine” OR “Respiratory System” OR “Rheumatology” OR “Substance Abuse” OR “Surgery” OR “Toxicology” OR “Transplantation” OR “Tropical Medicine” OR “Urology” OR “Nephrology” OR “Virology” OR “Fonoaudiologia e distúrbios da fala e linguagem” OR “General Medicine” OR “Internal Medicine” OR “Geriatrics” OR “Gerontology” OR “Health Care Sciences” OR “Health Care Services” OR “Hematology” OR “Infectious Diseases” OR “Integrative Medicine” OR “Complementary Medicine” OR “Legal Medicine” OR “Mathematical Biology” OR “Computational Biology” OR “saúde humana” OR “saúde” OR “médica” OR “medicina” OR “médico” OR “médica” OR “medicina” OR “Alergia” OR “Anatomia” OR “Morfologia” OR “Anestesiologia” OR “Bioquímica” OR “Biologia molecular” OR “Biofísica” OR “Biotecnologia” OR “Microbiologia aplicada” OR “Sistema cardiovascular” OR “Cardiologia” OR “Biologia celular” OR “Medicina intensiva” OR “Odontologia, cirurgia oral” OR “Medicina” OR “Dermatologia” OR “Biologia do desenvolvimento” OR “Medicina de emergência” OR “Endocrinologia” OR “Metabolismo” OR “Entomologia” OR “Biologia evolutiva” OR “Gastroenterologia” OR “Hepatology” OR “Genética” OR “Hereditariedade” OR “Imunologia” OR “Vida Ciências Biomedicina” OR “tópicos” OR “Informática Médica” OR “Tecnologia de Laboratório Médico” OR “Microbiologia” OR “Micologia” OR “Neurociências” OR “Neurologia” OR “Enfermagem” OR “Nutrição” OR “Dietética” OR “Obstetrícia” OR “Ginecologia” OR “Oncologia” OR “Oftalmologia” OR “Ortopedia” OR “Otorrinolaringologia” OR “Parasitologia” OR “Patologia” OR “Pediatria” OR “Farmacologia” OR “Farmácia” OR “Fisiologia” OR “Ciências das plantas” OR “Psiquiatria” OR “Saúde pública” OR “Saúde ambiental” OR “Saúde ocupacional” OR “Radiologia” OR “Medicina nuclear” OR “Imagens médicas” OR “Reabilitação” OR “Biologia reprodutiva” OR “Pesquisa em medicina” OR “Medicina experimental” OR “Sistema respiratório” OR “Reumatologia” OR “Abuso de substâncias” OR “Cirurgia” OR “Toxicologia” OR “Transplante” OR “Medicina tropical” OR “Urologia” OR “Nefrologia” OR “Virologia” OR “Fonoaudiologia e distúrbios da fala e linguagem” OR “Medicina geral” OR “Medicina interna” OR “Geriatría” OR “Gerontologia” OR “Ciências da Saúde” OR “Serviços de Saúde” OR “Hematologia” OR “Doenças Infecciosas” OR “Medicina Integrativa” OR “Medicina Complementar” OR “Medicina Legal” OR “Biologia Matemática” OR “Biologia Computacional”.

na Web of Science. A Questel-Orbit disponibiliza informação sobre cerca de 125 milhões de patentes e 66 milhões de famílias de patentes com cobertura de 110 autoridades de direitos de propriedade intelectual em todo o mundo. A base de dados contempla ainda informações atualizadas diariamente sobre códigos de classificação de patentes, domínios e subdomínios de tecnologia, relatórios de citações de patentes e não patentes com indicadores de relevância, objeto da invenção, vantagens e desvantagens da técnica anterior, reivindicações independentes, além de métricas qualitativas como valor da patente, generalidade e impacto da tecnologia. A busca avançada na Questel-Orbit contemplou o dicionário de palavras-chave nos campos: título, resumo, pedidos, objeto de invenção e conceito.

Para elaborar indicadores de patentes comparáveis entre países, optou-se pela utilização dos dados organizados por famílias de patentes. Uma família de patente é definida como conjunto de patentes (ou pedidos) depositados em vários países que estão relacionados entre si por um ou vários depósitos de prioridade comum. Em geral, uma família de patentes compreende todas as patentes que protegem a mesma invenção (OCDE, 2009). A utilização de famílias de patentes evita problemas de dupla contagem reduzindo o viés da utilização de múltiplos escritórios, neutraliza eventuais vantagens de publicação doméstica reduzindo o viés proveniente do peso relativo dos principais escritórios como o US Patent and Trademark Office (USPTO) e o European Patent Office (EPO), permite a realização de comparativos internacionais e de internacionalização da tecnologia e provê métricas para avaliar o valor da patente (Martínez, 2011).

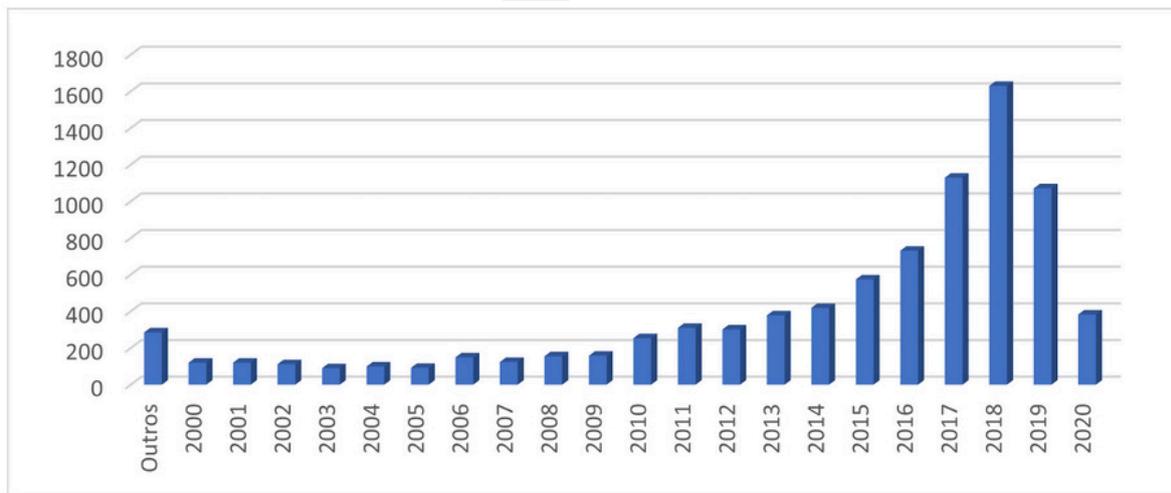
## 5.2. Análise dos resultados

Foram identificadas 8.684 famílias de patentes referentes a um total de 11.098 patentes relacionadas à revolução 4.0 em saúde no período 1977-2020 em âmbito mundial. A interface da saúde 4.0 representa 10% das 88.833 famílias de patentes relacionadas às atividades 4.0 e 0,3% das 2.749.360 famílias de patentes relacionadas aos campos de saúde e ciências da vida. No Brasil, a interface saúde 4.0 possui 8 famílias de patentes com assignatários brasileiros referentes a 14 patentes. Essas famílias representam 13% das 55 famílias de patentes em tecnologias 4.0 e 0,2% das patentes em saúde e ciências da vida.

Uma das datas mais significativas do ponto de vista tecnológico é a data de prioridade, pois é o indicador mais próximo da data de invenção. Há evidências de que as empresas que optam por

patenteiar uma inovação o fazem logo no início do processo (OCDE, 2009). O patenteamento de tecnologias em saúde 4.0 se intensificou principalmente a partir de 2010, alcançando um pico em 2018, como pode ser visualizado na Figura 10. No Brasil, as prioridades foram depositadas nos anos 2006, 2010, 2012, 2015, 2016, 2017 e 2018.

**Figura 10 – Número de famílias de patentes em saúde 4.0 por ano da primeira prioridade**



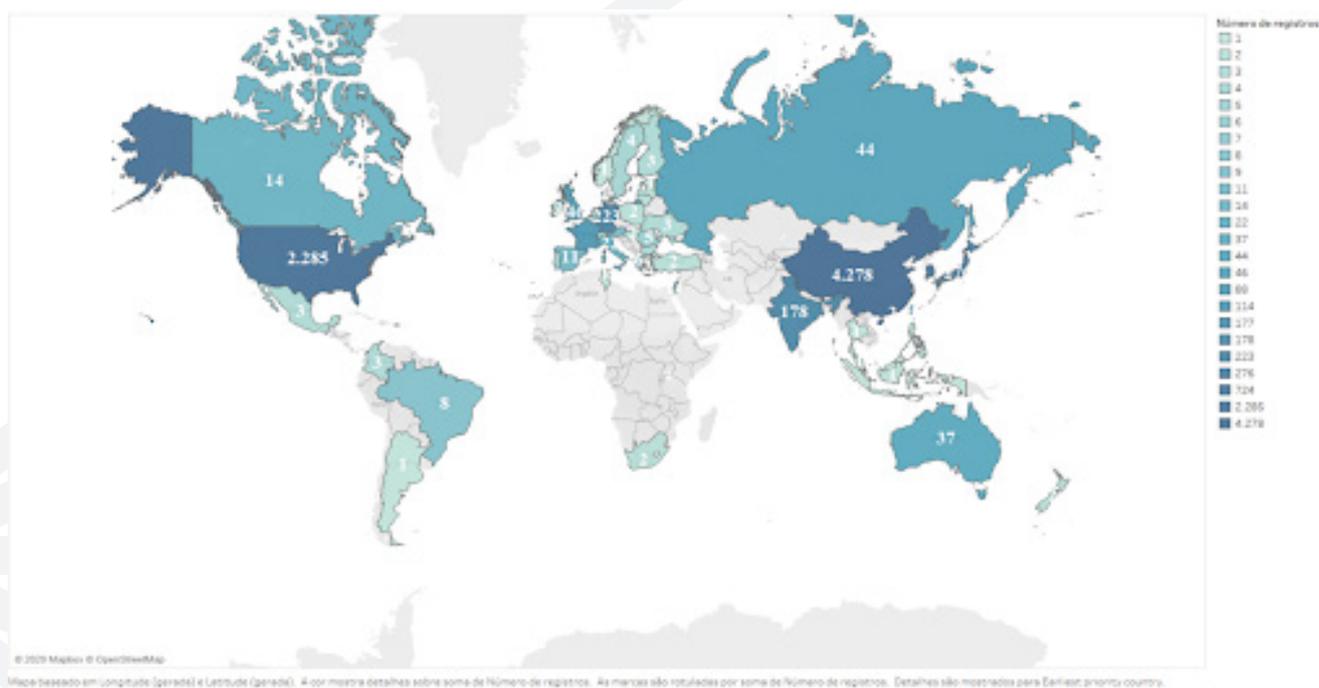
Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações extraídas da Questel-Orbit.

Diferentes indicadores de internacionalização e da geografia das invenções com base em dados de famílias de patentes podem ser encontrados na literatura, a maioria dos quais consiste na imposição de filtros geográficos às famílias de patentes. Dado o caráter territorial da proteção de patentes, quando os requerentes desejam proteger suas invenções em diferentes países, um pedido de patente precisa ser depositado em cada um dos escritórios de patentes onde a proteção é solicitada. Como resultado, o primeiro depósito de patente feito para proteger a invenção (a prioridade) é seguido por uma série de depósitos subsequentes e, juntos, eles formam uma família de patentes (Martínez, 2011)

Para refletir o desempenho inventivo de cada país, a Figura 11 consolida o número de famílias de patentes classificadas pelo país da primeira prioridade. De acordo com este indicador, os países que mais se destacam como inventores em saúde 4.0 são China (4.278), Estados Unidos (2.285), Coreia (724), Japão (276), Alemanha (223), Índia (178), França (88), Reino Unido (46), Taiwan (46)

e Rússia (44). A amostra de dados é composta ainda por 291 famílias de patentes transnacionais, definidas como famílias que usam procedimentos de preenchimento supranacional como a Organização Mundial da Propriedade Intelectual (177) e a Organização Europeia de Patentes (114), para melhor capturar as tendências recentes de globalização e expansão para mercados emergentes.

**Figura 11 – Famílias de patentes em saúde 4.0 por países (primeira prioridade)**



Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações extraídas da Questel-Orbit.

Os indicadores de país do signatário da prioridade corroboram em certa medida os indícios apresentados pelo país de depósito da primeira prioridade. Os países que concentram a maior frequência de signatários de prioridades são: Estados Unidos (7.393), China (3.333), Alemanha (901), Japão (638), Coreia (613), França (388), Israel (313), Reino Unido (260), Holanda (239), Canadá (230) e Suíça (169). A posição relativa da China, considerando ambos os indicadores geográficos, indica que o país concentra o depósito de prioridades de signatários oriundos de diversos países.

Cerca de 8% das famílias de patentes mundiais são detidas pelos dez principais *players* mundiais. Destacam-se como assignatários de famílias de patentes em saúde 4.0 as empresas: Huawei (244), Shenzhen (81), LG Electronics (70), IBM (50), Samsung Electronics (48), Philips (47), Sie-

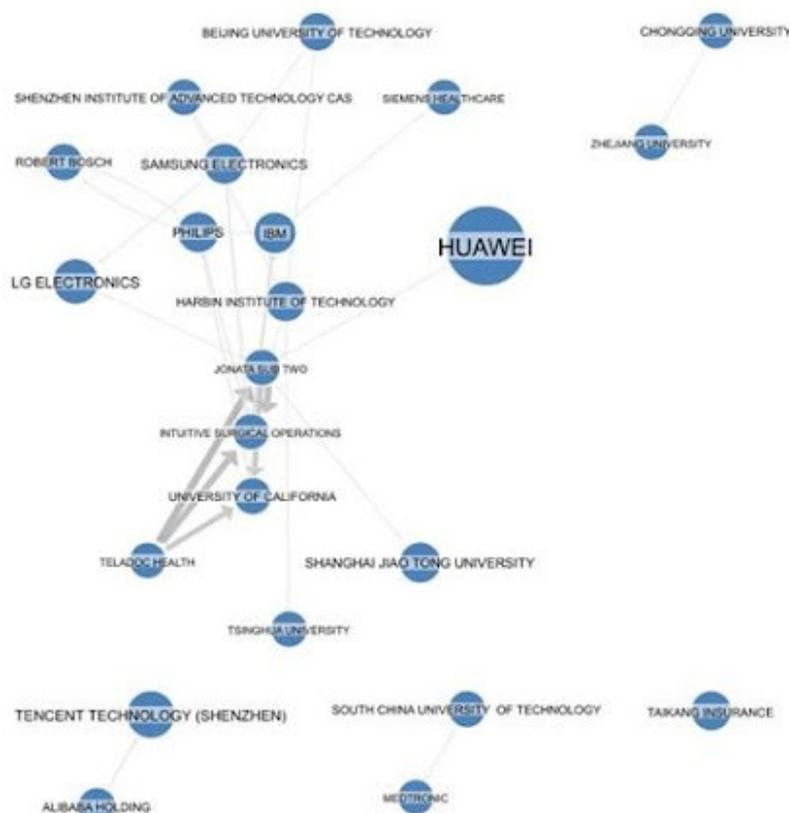
mens (47), Taikang (42), Alibaba Holding (30), Bosch (29), Chengdu Borna Medical Robotics (27), Medtronic (20), Jonata Sub Two (23), Shaanxi Medical (23), Teladoc Health (23); Intuitive Surgical Operations (22); e as universidades: Shanghai Jiao Tong University (47), Beijing University of Technology (35), South China University of Technology (27), University of California (27), Chongqing University (26), Jilin University (25), Tsinghua University (24), Zhejiang University (24), Harbin University of Science & Technology (22), Tianjin University (22), Hefei University of Technology (21); e os institutos: Harbin Institute of Technology (43) e Shenzhen Institute of Advanced Technology (25).

A empresa chinesa Huawei é líder nos campos tecnológicos de telecomunicações e comunicação digital. A chinesa Shenzhen, as sul-coreanas LG e Samsung e a americana IBM são relativamente mais especializadas em tecnologia da computação. A Shenzhen também se destaca em métodos de TI para gerenciamento e a IBM em comunicação digital. As tecnologias médicas são dominadas, principalmente, pelas empresas Samsung, Philips e Chengdu; pelas universidades Shanghai Jiao Tong University, South China University of Technology, University of California, Chongqing University, Jilin University; e pelos institutos Harbin Institute of Technology e Shenzhen Institute of Advanced Technology.

Em termos de conceitos tecnológicos, além da University of California e da Jilin University, as empresas Huawei, LG, Philips, Bosch e Siemens se destacam em telemedicina; Taikang, Shenzhen, Alibaba Holding e IBM em *block chain*; a Huawei em medicina remota; a Beijing University of Technology, a Bosch e a Siemens em informação e dados médicos; a Shanghai Jiao Tong University, a South China University of Technology, o Shenzhen Institute of Advanced Technology e a LG Electronics em robôs médicos; a Chengdu Borna Medical Robotics em cirurgia robótica; a Shanghai Jiao Tong University e o Harbin Institute of Technology em diagnóstico remoto; a Siemens e a Chongqing University em registros médicos.

Observa-se ainda uma relativa interdependência em termos de citações de patentes entre os principais players globais, envolvendo tanto empresas quanto universidades e centros de pesquisa. A interdependência apresentada na Figura 12 pode ser considerada um indício de processos de inovação incremental, colaboração e concorrência tecnológica em campos específicos de saúde 4.0.

Figura 12 – Interdependência por citação de patentes em saúde 4.0



Fonte: Questel-Orbit.

O tamanho da família de patentes, medido pelo número de escritórios de patentes ou pelo número de pedidos de patentes pertencentes a uma família, é indicador comumente utilizado para avaliar o valor da patente. Em geral, o depósito de patentes no exterior está associado a custos mais elevados para o requerente (em termos de taxas de escritórios de patentes, contas de advogados de patentes e custos de tradução), portanto os requerentes tendem a buscar proteção internacional de patentes apenas para suas patentes mais valiosas. Outro indicador bastante utilizado para avaliar o valor de uma patente é o número de citações recebidas por uma patente nos relatórios de pesquisa de outras patentes (Martínez, 2011).

De acordo com indicadores qualitativos das trinta patentes com maiores somas de números de patentes citantes, meses entre as datas de arquivamento da família mais velha e mais nova; número de patentes e número de prioridades das famílias de patentes, excluindo-se as duplas contagens, foi pos-

sível identificar uma amostra de 108 famílias de patentes de elevado valor estimado para os avanços em saúde 4.0. Cerca de 81% das famílias de patentes de alto valor identificadas tiveram sua primeira prioridade depositada nos Estados Unidos, destas: oito famílias possuem signatários de diferentes países, duas famílias foram depositadas prioritariamente nos estados unidos por signatários canadenses e israelenses e as demais 77 famílias de patentes pertencem a signatários norte-americanos. Apesar da dominância dos Estados Unidos, outros países como França (3), Inglaterra (3), Alemanha (3), China (1), Áustria (1), Hungria (1), Israel (1), Japão (1) e Nova Zelândia (1) também se destacam neste grupo. Outras seis famílias de patentes foram depositadas através da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (4) e Organização Europeia de Patentes (2), por signatários norte-americanos (3), alemães (1), italianos (1) e um signatário das Ilhas Cayman (1) cujo inventor é chinês.

As patentes da amostra de alto valor pertencem a 91 organizações, destacando-se, pelo número de famílias: Intuitive Surgical Operations (7), Ava Robotics (2), Labrador Diagnostics (3), Globus Medical (2), JCBD (2), Jonata Sub Two Teladoc Health (2), Medtronic (2) e Qualcomm (2). Além destas, empresas como Basf, Eli Lilly, Google, IBM, Intel, Monsanto Technology, Philips Electronics e instituições como o Massachusetts Institute of Technology (MIT) e a University of Florida Research Foundation também estão listadas. Os grandes players mundiais chineses por número de patentes Huawei (244) e Shenzhen (81), contudo, não figuram na listagem de 91 organizações detentoras das famílias de patentes de maior impacto em saúde 4.0.

Observa-se, ainda, que 10% das famílias de patentes de alto valor possuem signatários de mais de um país, como, por exemplo: Holanda e Estados Unidos; Bélgica e Inglaterra; China e França; Alemanha e Holanda; Estados Unidos e China, Alemanha e Estados Unidos; Hong-Kong e China; Porto Rico e Estados Unidos; Jersey, Mônaco e Inglaterra; Japão e Estados Unidos. Nestes casos, as famílias de patentes envolvem interações internacionais provavelmente relacionadas a licenciamentos e outros arranjos, mas não necessariamente patentes depositadas conjuntamente através de colaboração científica internacional.

Foram identificadas, pelo menos, 145 prioridades de patentes<sup>20</sup> depositadas em colaboração internacional de signatários. As colaborações envolveram, principalmente, signatários dos Estados

---

<sup>20</sup> Dados referentes à patente individualmente, não à família da patente.

Estados Unidos, Alemanha, Irlanda, China e França. Apesar do elevado número de famílias de patentes cuja primeira prioridade foi depositada na China (Figura 8), o país colabora relativamente pouco em saúde 4.0 (15 colaborações) se comparado aos Estados Unidos (90 colaborações), Alemanha (24 colaborações), Irlanda (17 colaborações) e França (15 colaborações), superando em pouco Reino Unido (10 colaborações), Suíça (9 colaborações), Japão (9 colaborações), Holanda (9 colaborações) e Israel (9 colaborações). A posição de centralidade dos países na rede de colaboração internacional em saúde 4.0 é apresentada na Figura 13. A semelhança dos resultados apresentado na Figura 9 com a amostra qualitativa de 108 famílias de patentes de alto valor não permite refutar a hipótese de correlação positiva entre a colaboração científica internacional e o valor das patentes, embora os dados sejam insuficientes para ratificar esta hipótese.

Cabe mencionar, ainda, que com base na média de citação às famílias de patentes cujas prioridades foram depositadas nos líderes China (4.278 famílias de patentes; 2,1 média de citações) e Estados Unidos (2.285 famílias de patentes; 31,35 média de citações), a posição de liderança mundial quantitativa da China não necessariamente é corroborada em termos de domínio qualitativo das tecnologias em saúde 4.0.

**Figura 13 – Rede de colaboração internacional de assignatários de prioridades de patentes.**



Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações extraídas da Questel-Orbit.

Os principais domínios tecnológicos associados às famílias de patentes em saúde 4.0 no Brasil e no mundo são apresentados na Tabela 19. Os campos de tecnologia médica (35%), tecnologia da computação (26%), métodos de TI para gestão (19%), comunicação digital (17%) e manipulação de dados (13%) são os mais significativos no mundo. No Brasil, as invenções tecnológicas se concentram principalmente nos campos de tecnologia médica (57%), métodos de TI para gestão (43%) e tecnologia da computação (43%). Há dupla contagem nos dados, uma vez que cada família de patente pode estar relacionada a vários campos de domínio tecnológico.

**Tabela 19 – Domínios tecnológicos por famílias de patentes**

Domínio de tecnologia	Brasil	Mundo
Análise de materiais biológicos		133
Tecnologia audiovisual		263
Processos de comunicação básicos		33
Química de materiais básicos		29
Biotecnologia		95
Engenheiro químico		115
Engenharia civil	1	67
Tecnologia da computação	3	2.258
Controle		637
Comunicação digital	1	1.475
Máquinas elétricas, aparelhos e energia		169
Motores, bombas e turbinas		36
Tecnologia ambiental		30
Química de alimentos		11
Móveis e jogos		195
Manipulação	1	1.169
Métodos de TI para gestão	3	1.633
Máquina-ferramentas		67
Química macromolecular e polímeros		35
Materiais e metalurgia		19
Medição	1	378
Elementos mecânicos		124
Tecnologia médica	4	3.051
Microestrutura e nanotecnologia		21
Óptica		138
Química orgânica fina		18
Outros bens de consumo	1	99
Outras máquinas especiais		166

Farmacêuticos		53
Semicondutores		51
Tecnologia de superfície e revestimento		21
Telecomunicações	2	818
Máquinas têxteis e de papel		20
Processos térmicos e aparelhos		14
Transporte		185

Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações extraídas da Questel-Orbit.

As 8.684 famílias de patentes identificadas com a revolução 4.0 em saúde no período 1977-2020 estão associadas a 5.673 códigos CIP diferentes. É comum que uma mesma patente faça referência a vários códigos de uma mesma vizinhança tecnológica. Quando analisados os códigos ao nível de subclasses de patentes (4 dígitos), observa-se que as famílias de patentes estão classificadas de acordo com 387 subclasses de patentes. Dentre estas subclasses observa-se a prevalência de tecnologias relacionadas com diagnóstico; cirurgia e identificação (A61B; 6479);<sup>21</sup> processamento elétrico de dados digitais (G06F; 4188); sistemas ou métodos de processamento de dados, especialmente adaptados para propósitos administrativos, comerciais, financeiros, de gerenciamento, supervisão ou predição (G06Q; 2889); transmissão de informação digital (H04L, 2626); informática de saúde, i.e. tecnologia da informação e comunicação especialmente adaptada para a manipulação ou processamento de dados médicos ou de saúde (G16H; 2553); manipuladores; compartimentos equipados com dispositivos para manipulação (B25J; 2170) e redes de comunicação sem fio (H04W; 1470)

A evolução dinâmica da base de conhecimentos e a pervasividade tecnológica que caracteriza as aplicações tecnológicas que compõem a revolução 4.0 em saúde também podem ser observadas em termos de códigos da Classificação Internacional de Patentes (CIP) e sua correlação com os 35 campos de tecnológicos (Schmoch, 2008), conforme apresentado nas Figuras 4 (a. 1977-1989; b. 1990-1999; c. 2000-2009; d. 2010-2020).

No período 1977-1989, a base de conhecimentos tecnológicos era composta por 35 famílias de patentes relacionadas a 42 códigos de subclasses de patentes e 15 campos tecnológicos distintos embora

<sup>21</sup> Código de subclasse CIP e número de observações da subclasse na amostra de dados de famílias de patentes.

interligados através de combinações de peças tecnológicas. Dentre estes, prevaleciam as aplicações associadas ao campo de manejo através da subclasse de manipuladores; compartimentos equipados com dispositivos para manipulação (B25J; 18); ao campo de medida através da subclasse de investigação ou análise dos materiais pela determinação de suas propriedades químicas ou físicas (G01N; 12); à tecnologia médica através de filtros implantáveis nos vasos sanguíneos; próteses; dispositivos que promovem desobstrução ou previnem colapso de estruturas tubulares do corpo, como por exemplo *stents*; dispositivos ortopédicos, de enfermagem ou anticoncepcionais; fomentação; tratamento ou proteção dos olhos ou ouvidos; ataduras, curativos ou almofadas absorventes; estojos para primeiros socorros (A61F; 10); a componentes mecânicos como eixos; eixos flexíveis; meios mecânicos para transmitir movimentos em uma blindagem flexível; elementos dos mecanismos dos eixos de manivela; pivôs; ligações pivotantes; elementos rotativos de engenharia outros que não elementos de engrenagens, acoplamentos, embreagens ou freios; mancais (F16C; 10) e, em menor grau, a produtos farmacêuticos como preparações para finalidades médicas, odontológicas ou higiênicas (A61K; 8).

O período 1990-1999 já é marcado por um número maior famílias de patentes (240), de subclasses (121) e campos tecnológicos (31), indicando um aumento quantitativo e um processo de diversificação e de complexidade das aplicações da revolução 4.0 em saúde no mundo. Neste segundo período ganham destaque as aplicações no campo de tecnologia médica através de diagnóstico; cirurgia; identificação (A61B; 237); no campo de tecnologia informática através de técnicas de processamento elétrico de dados digitais (G06F; 173); além de métodos de gestão em tecnologia da informação, como sistemas ou métodos de processamento de dados, especialmente adaptados para propósitos administrativos, comerciais, financeiros, de gerenciamento, supervisão ou predição (G06Q; 95) e tecnologia audiovisual como comunicação de imagens (H04N; 70). As aplicações relacionadas a quatro das subclasses que dominavam o período anterior seguem compondo a base de conhecimentos tecnológicos que amparam as aplicações em saúde 4.0 no período 1990-1999, embora percam importância relativa no conjunto da amostra de família de patentes (B25J manejo, 67; G01N medida, 57; A61F tecnologia médica, 5 e A61K produtos farmacêuticos, 23). A subclasse de componentes mecânicos (F16C) deixa de integrar o conjunto de dados neste segundo período.

O processo de incorporação de tecnologias associadas à revolução 4.0 em saúde é intensificado no período seguinte, 2000-2009, no qual é possível observar além de um aumento no número de famílias de patentes (1219), campos tecnológicos (33) e subclasses de patentes (225), um aumento

da interdependência entre os mais diversos domínios tecnológicos que compõem a base de conhecimentos tecnológicos, como pode ser observado na rede apresentada na Figura 14.c. Os domínios tecnológicos que se destacaram no período 1990-1999 corroboram sua posição dominante e ganham importância relativa no período 2000-2009 (A61B tecnologia médica, 1352; G06F tecnologia informática, 646; G06Q métodos de gestão em TI, 506; H04N tecnologia audiovisual, 281). As subclasses dos campos tecnológicos de manejo (B25J, 258) e de medida (G01N, 140), que são relevantes desde o período 1977-1989, também mantém sua importância relativa na amostra de 2000-2009. Outros domínios de comunicação digital como transmissão de informação digital (H04L, 170) e redes de comunicação sem fio (H04W, 134) ganham prominência neste terceiro período.

Ao longo do quarto e último período de observação 2010-2020, a pervasividade tecnológica e a interdependência entre os domínios que compõem a revolução 4.0 em saúde e a complexidade da rede de subclasse de patentes apresentada na Figura 14.d se intensificam. As 7.176 famílias de patentes depositadas neste período estão relacionadas a todos os 35 campos tecnológicos e a 313 subclasses de patentes. Neste período o campo de tecnologia informática, através de técnicas de processamento elétrico de dados digitais (G06F, 3249), desponta como o mais prevalente na base tecnológica, seguido pelo domínio já dominante de tecnologia médica através de diagnóstico; cirurgia; identificação (A61B; 2937). Outras subclasses do campo de tecnologia médica emergem em termos de importância neste período: tecnologia médica informática de saúde, isto é, tecnologia da informação e comunicação especialmente adaptada para a manipulação ou processamento de dados médicos ou de saúde (G16H, 2436); e, em menor grau, aparelhos de fisioterapia, como, por exemplo, dispositivos para localizar ou estimular os pontos de flexibilidade do corpo; respiração artificial; massagem; dispositivos de banho para usos especiais terapêuticos ou de higiene de partes específicas do corpo (A61H, 395) e dispositivos para introduzir matérias no corpo ou depositá-las sobre ele (A61M, 330). No campo de comunicação digital destacam-se: as redes de comunicação sem fio (H04W, 2669), a transmissão de informação digital (H04L, 2371), tecnologia audiovisual como comunicação de imagens (H04N, 1277). Métodos de gestão de TI como sistemas ou métodos de processamento de dados, especialmente adaptados para propósitos administrativos, comerciais, financeiros, de gerenciamento, supervisão ou predição (G06Q, 2286), de manejo como compartimentos equipados com dispositivos para manipulação (B25J, 1817), além de análise de materiais biológicos e medida como investigação ou análise dos materiais pela determinação



Em comparação com países em desenvolvimento como China, Índia e até mesmo Rússia, a posição relativa do Brasil em publicação de prioridades de patentes o coloca em atraso no processo de *catch-up* em direção à fronteira tecnológica da saúde 4.0, a despeito das potencialidades apresentadas pelo País em termos de infraestrutura em ciência e tecnologia. De forma geral, identifica-se um gargalo na capacidade do País em transformar os avanços em pesquisa fundamental em temas relacionados à saúde 4.0 para invenções e inovações tecnológicas. O País não se envolveu em colaborações através de depósito de patentes neste campo.

No Brasil, as famílias de patentes são detidas pelas empresas Bramente (1), Lotus Medicina Avançada (1) e Telcor Telemedicina (1); e pelas universidades: Universidade Estadual de Campinas – Unicamp (1), Universidade Federal do Paraná – UFPR (1) e Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste (1). Dentre os signatários também se encontram um grupo de pessoas físicas. A Bramente atua nos campos de tecnologia da computação, métodos de TI para gestão e telecomunicações; a Lotus Medicina Avançada, em tecnologia médica, telecomunicações, manejo, medição e outros bens de consumo; a Telcor Telemedicina, em tecnologia médica e da computação; a Unicamp e a Unioeste, em métodos de TI para gestão e a UFPR, em tecnologia médica.

As famílias de patentes versam majoritariamente sobre métodos e sistema para suporte de atividades de telemedicina, além de uma tecnologia de monitoramento eletrocardiográfico vestível. As patentes foram depositadas principalmente sob os códigos de diagnóstico, cirurgia, identificação (A61B; 12), processamento elétrico de dados digitais (G06F; 6), sistemas ou métodos de processamento de dados (G06Q; 3), roupas externas, trajes protetores e acessórios (A41D; 2), recipientes especialmente adaptados para finalidades médicas ou farmacêuticas, dispositivos ou métodos especialmente adaptados para converter os produtos farmacêuticos em formas físicas especiais ou de administração e dispositivos para administrar alimentos ou remédios por via oral (A61J; 2) e transmissão de informação digital (H04L; 2). A interação entre os códigos de patentes se verifica no caso brasileiro, mas a densidade e a complexidade da rede de subclasses de patentes para todo o período de análise disposta na Figura 15 é bastante reduzida se comparada às apresentadas em nível mundial na Figura 14.

Figura 15 - Rede de subclasses de patentes em saúde 4.0 no Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações extraídas da Questel-Orbit.

A Tabela 20 consolida as informações sobre as famílias de patentes brasileiras. Duas famílias já possuem todas as suas patentes constituintes com datas de validade expiradas, as demais possuem pelo menos uma patente ativa em vigência.

De acordo com indicadores qualitativos de tamanho da família de patentes (Martínez, 2011), a tecnologia de monitoramento cardíaco da Lótus Medicina Avançada é a patente brasileira em saúde 4.0 de maior valor. Em termos de número de citações da patente (Martínez, 2011), a família de patentes já expiradas sobre sistema de telemedicina para monitoramento remoto de pacientes e a patente da Bramente sobre sistema, equipamento e método para realizar e documentar em tempo real um procedimento profissional assistido remotamente são as famílias com maior valor reconhecido por outros inventores e assignatários de patentes através de referências realizadas a *posteriori*.

**Tabela 20 – Famílias de patentes brasileiras**

Data de prioridade mais antiga	Título	Assignatários atuais	Todas as patentes citadas	Todas as patentes citantes	Número de assignatários	Meses entre as datas das patentes mais velhas e mais novas da família	Países/ autoridades	Número de prioridades	Número de patentes	Estado legal da família
2015-08-10	Centro de controle de inteligência artificial médica com sistema remoto para elaboração de diagnóstico, prescrição de medicamentos e envio de tratamento médico online via telemedicina.	Leonardo Pereira Luis Henrique; Luis Henrique Leonardo Pereira; Luis Henrique Leonardo	6	1	0	10	3	1	3	Ativa
2018-02-08	Aplicativo de telemedicina para compartilhamento de informações e monitorização de pacientes à distância.	Giselo Vajjal Fernandes	0	1	0	0	1	1	1	Ativa
2012-12-21	Método em telemedicina para o acompanhamento remoto e em tempo real procedimentos médicos.	Universidade Estadual de Campinas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná	0	1	2	12	2	1	2	Ativa
2018-05-04	Sistema de telemedicina por cabine para triagem e biomonitorização intravascular de doenças.	Universidade Federal do Paraná	0	1	1	0	1	1	1	Ativa
2016-11-07	Tecnologia de monitoramento eletrocardiográfico (ecg) vestível com lençol selado para medicação e sistema de monitoramento médico integrado.	Litius Medicina Avançada	15	1	1	31	11	3	11	Ativa
2006-08-25	Sistema de telemedicina para monitoramento remoto de pacientes.	Bossani Thiago, Beckert Nelo Alhedo, Figueiredo Marcus Vinicius Maza, Nelo Alhedo Beckert, Rogal Junior Sergio Renato, Rogal Sergio Renato Junior	7	1	0	12	2	1	2	Expirada
2015-01-28	Sistema, equipamento e método para realizar e documentar em tempo real um procedimento profissional assistido remotamente.	Bramante; Thiago Magalhães	1	2	1	12	4	2	4	Ativa
2010-12-21	Sistema de telemedicina.	Telcor Telemedicina Ma	0	1	1	0	1	1	1	Expirada

Fonte: Elaborado pelos autores com base em informações extraídas da Questel-Orbit.

## 6. Considerações finais e próximos passos

A crescente adoção das novas plataformas tecnológicas associadas à 4ª Revolução Tecnológica impõe desafios significativos sobre a dinâmica de geração, difusão e uso de competências científicas e tecnológicas no campo da saúde. Tecnologias de Internet das Coisas, Inteligência Artificial, *Cloud* e *Fog Computing* e *Big Data*, entre outras, estão revolucionando as formas tradicionais de atendimento da demanda de produtos e serviços em saúde em âmbito mundial. Este estudo buscou apresentar uma análise de caráter exploratório sobre a dinâmica atual de geração, difusão e uso de competências científicas e tecnológicas na área da saúde, em âmbito global e nacional, no contexto das novas plataformas tecnológicas associadas à 4ª Revolução Tecnológica. Adicio-

nalmente, tentou-se compreender as implicações deste novo contexto para o desenvolvimento do CEIS no Brasil.

Inicialmente, buscou-se estabelecer uma delimitação mais ampla e abrangente para os campos disciplinares que integram o processo de geração, difusão e uso de novos conhecimentos científicos e tecnológicos no campo da saúde 4.0, para além das disciplinas que tradicionalmente caracterizam as grandes áreas de conhecimento de ciências biológicas e ciências da saúde no Brasil. Tal esforço permitiu a identificação de um conjunto de áreas de conhecimento que incorpora áreas de conhecimento que amparam os avanços em robótica, automação e Tecnologias da Informação e da Comunicação. Neste sentido, considerando a multidisciplinaridade, a interdisciplinaridade e a cumulatividade características das bases de conhecimento, a integração em equipes multidisciplinares para geração de novas combinações de conhecimentos originárias de múltiplas disciplinas representa um elevado potencial estratégico para geração de novas competências e para incorporação de inovações na base produtiva em saúde no contexto da 4ª Revolução Tecnológica.

A análise sobre as capacitações técnico-científicas brasileiras mostrou um crescimento considerável no número de grupos de pesquisa e pesquisadores em áreas consideradas relevantes para a pesquisa e inovação em saúde 4.0. Entretanto, observa-se que esse crescimento foi inferior ao crescimento no total de áreas. Assim, enquanto, em 2000, 53,8% dos grupos de pesquisa e 51,4% dos pesquisadores atuavam em áreas consideradas relevantes para saúde 4.0; em 2016, essas proporções eram 43,1% e 43,6% respectivamente.

Esse mesmo padrão é observado no tocante à evolução no número de titulados (mestres e doutores) em programas de pós-graduação no País. Entre 2000 e 2019, observou-se um aumento no **número de doutores** e mestres titulados no Brasil de, respectivamente, 357% e 204%. Esse crescimento foi proporcionalmente menor nas áreas selecionadas da saúde: 295% para o número de doutores titulados e 176% para o número de mestres. Apesar do crescimento observado no número de mestres e doutores formados nos cursos de pós-graduação em todas as áreas, observa-se uma queda significativa nos recursos destinados a bolsas de pós-graduação entre 2015 e 2019.

A distribuição geográfica de grupos de pesquisa nas áreas selecionadas reforça a percepção sobre a elevada concentração territorial da infraestrutura científica e tecnológica nas regiões Sul e Sudeste, especialmente em estados como São Paulo, que detêm 23% do total de grupos de

pesquisa no País. A concentração da estrutura científica e tecnológica nas regiões Sul e Sudeste segue os padrões esperados ditados pelo desenvolvimento histórico brasileiro e reforçam a percepção do impacto das idiossincrasias do Sistema Nacional de Inovação e do contexto histórico, social, político e econômico do Brasil como elementos-chave para compreender as potencialidades e os desafios enfrentados pelo País para a capacidade de absorção nacional nos campos relacionados à saúde 4.0.

Adicionalmente, a partir da delimitação inicial sobre as áreas de conhecimento que integram a chamada saúde 4.0, o estudo analisou a participação do Brasil na produção científica mundial tanto em termos do número de publicações como do impacto desta produção. Apesar do crescimento significativo da produção científica brasileira em saúde 4.0, em termos quantitativos e qualitativos, ao longo do período 2001-2020, observa-se que essa participação ainda é baixa e corresponde a menos de 2% da produção científica mundial na área para o período analisado (1967-2020). Da mesma forma, observa-se que os Estados Unidos dominam mais de 40% do total de publicações, enquanto a China representa o segundo país com maior participação no total de publicações científicas em campos de conhecimento da saúde 4.0.

Apesar dos esforços em curso para o fortalecimento da estrutura tecnocientífica nacional nas áreas de conhecimento identificadas, o país ainda se confronta com um quadro de atraso relativo de sua produção científica em comparação com os líderes do norte global, cujas produções científicas cresceram exponencialmente nos últimos vinte anos nestes campos de conhecimento. Os resultados quantitativos em número de publicações são, em grande parte, ratificados pelos indicadores qualitativos da produção científica nacional indexada em relação à produção internacional. Apesar dos avanços qualitativos notáveis da produção científica brasileira em termos do número de citações e Índice H de impacto da produção, o Brasil ainda se defronta com uma grande lacuna para alcançar e acompanhar o nível de impacto relativo da produção científica desenvolvida no âmbito dos países que se encontram na fronteira do conhecimento no campo da saúde 4.0, especialmente de países como Inglaterra e Alemanha.

Em termos de esforços de capacitação em âmbito nacional e internacional no campo da saúde 4.0, a partir de uma análise de famílias de patentes, observa-se uma intensificação do patenteamento de tecnologias em saúde 4.0 a partir de 2010, chegando a um ápice em 2018. A exemplo

do padrão observado no campo das publicações científicas, observa-se que países como Estados Unidos, China, Alemanha, Japão, Coreia e França concentram a maior frequência de signatários de prioridades. A concentração no registro de prioridades de patentes relacionadas com o campo da saúde 4.0 também se mostra elevada em termos do domínio de grandes empresas como Huawei, Shenzhen, LG Electronics, IBM, Samsung Electronics, Philips, Siemens, Taikang, Alibaba Holding, Bosch, Chengdu Borns Medical Robotics, entre outras.

Um elemento importante na análise das famílias de patentes se refere à evolução dinâmica da base de conhecimentos e a pervasividade tecnológica que caracteriza as aplicações tecnológicas que compõem a revolução 4.0 no campo da saúde. Ao longo do período 1977-2020, observa-se um crescimento significativo no processo de diversificação das aplicações da revolução 4.0 em saúde no mundo. No período 1977-1989, a base de conhecimentos tecnológicos em saúde 4.0 era composta por 35 famílias de patentes relacionadas a 42 códigos de subclasses de patentes e 15 campos tecnológicos distintos. Já no período 2010-2020, observa-se que as famílias de patentes depositadas estão relacionadas a 35 campos tecnológicos e a 313 subclasses de patentes. O aumento da complexidade das aplicações tecnológicas em nível mundial indica um acelerado avanço da fronteira tecnológica associado a uma progressiva redução da janela de oportunidade aberta pelas aplicações da revolução 4.0 no campo da saúde. A análise dos dados de famílias de patentes revela que o Brasil apresenta um atraso relativo no domínio de tecnologias associadas à fronteira tecnológica da saúde 4.0, a despeito das potencialidades que o País apresenta em termos da sua infraestrutura de CT&I em saúde. A análise do quadro de patenteamento no Brasil mostrou que a interface saúde 4.0 possui apenas 8 famílias de patentes com signatários brasileiros referentes a 14 patentes. Essas famílias representam 13% das 55 famílias de patentes em tecnologias 4.0 e 0,2% das patentes em saúde e ciências da vida. Identifica-se, portanto, um gargalo na capacidade do País em transformar os avanços em pesquisa fundamental em temas relacionados à saúde 4.0 para invenções e inovações tecnológicas. Diante do rápido avanço da fronteira tecnológica global, esses resultados são alarmantes uma vez que, quanto maior for a distância do Brasil em relação à posição e ao ritmo de deslocamento da fronteira tecnológica, maior tende a ser a dificuldade do País de explorar as oportunidades tecnológicas abertas pela revolução 4.0 no campo da saúde.

As análises bibliométricas de dados de artigos e patentes apresentadas corroboram a hipótese de existência de uma forte assimetria científico-tecnológica global, a posição de atraso relativo do

Brasil está em consonância com um atraso relativo do Sul global em relação aos países no Norte global. Neste contexto, países como China, Índia e o próprio Brasil se destacam pelo seu potencial de aproximação da fronteira científico-tecnológica apesar dos desafios enfrentados por cada um desses países. Cabe ressaltar que no caso da China, especificamente, a liderança quantitativa em número de artigos e patentes em saúde 4.0 não se reflete diretamente sobre os indicadores do impacto qualitativo da produção científico-tecnológica chinesa nesses campos. A lacuna entre os indicadores quantitativos e qualitativos da China reforça a hipótese de atraso relativo e dos desafios enfrentados inclusive pelos países capazes de se aproximar e liderar os avanços científico-tecnológicos.

A elevada participação de universidades e institutos públicos de pesquisa, tanto no total de publicações como no apoio financeiro aos estudos em saúde 4.0, constitui uma característica comum ao perfil das publicações brasileiras e dos demais países. O apoio público à pesquisa, sustentado no longo prazo diante do reconhecimento da cumulatividade do conhecimento, e o papel do estado como indutor do avanço científico-tecnológico e da formação de pesquisadores, técnicos e profissionais especializados em áreas correlatas à saúde 4.0 constituem fatores determinantes para uma inserção virtuosa do Brasil no âmbito dos padrões internacionais de colaboração e concorrência em relação à expansão da fronteira tecnológica em saúde. Os esforços nacionais para o fortalecimento da estrutura de ciência e tecnologia em saúde diante de uma nova onda de desenvolvimento ensejada pela incorporação de um novo paradigma tecnológico marcado pela coevolução científica das novas plataformas da revolução 4.0 em relação aos paradigmas tecnológicos preexistentes que ainda se encontram em fase de expansão, como a biotecnologia e a nanotecnologia, apresentam potencial de impacto direto sobre o bem-estar da população e sobre as condições de acesso aos novos produtos e serviços em saúde.

Em termos de colaboração científica internacional, observa-se ainda uma elevada frequência de colaboração científica do Brasil com autores e instituições internacionais de países como Estados Unidos, Inglaterra, Alemanha, Canadá, França, Austrália, Itália, Espanha, Holanda, China, Portugal, Índia, Suécia, Bélgica, Suíça, Argentina, Japão e Coreia do Sul no campo da ciência. Essas colaborações em produção científica representam uma importante alternativa para a difusão e posterior incorporação e aplicação dos novos conhecimentos em saúde 4.0 que estão sendo gerados pelos países líderes do Norte global que avançam na fronteira do conhecimento. Apesar das diferenças significativas entre os incentivos característicos da esfera da ciência e da esfera da

tecnologia, a análise de família de patentes também apresenta indícios favoráveis em termos de correlação positiva entre o engajamento em colaborações internacionais por redes de signatários e os indicadores qualitativos de impacto das patentes. Entretanto, como um dos reflexos do atraso relativo brasileiro, não há indícios de interação brasileira através de redes de países dos signatários das famílias de patentes em saúde 4.0.

Historicamente, contudo, o Brasil se confronta com um gargalo significativo no que tange a capacidade de transbordamento dos conhecimentos gerados na esfera da ciência para aplicações industriais e potenciais avanços do conhecimento tecnológico na esfera da tecnologia, e vice-versa, no contexto de uma visão não linear de inovação (Vargas, Britto, 2016). A partir de uma busca parametrizada na base corrente do Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq, o estudo logrou identificar 965 grupos de pesquisa que atuam com tecnologia associadas à revolução 4.0 e 127 grupos distribuídos em 64 instituições que realizam pesquisa em áreas vinculadas com a aplicação das tecnologias da revolução 4.0 à saúde. Observa-se que os grupos de pesquisa na área de saúde 4.0 representam cerca de 13% dos grupos que atuam com plataformas associadas à 4ª Revolução Tecnológica, tais como telemedicina, cirurgia robótica e impressão 3D. Cabe ressaltar que, apesar do crescimento relativamente menor da infraestrutura científica brasileira em áreas de conhecimento identificadas, comparado ao total de áreas de conhecimento do DGP-CNPq, os indicadores de interação universidade-empresa sinalizam uma prevalência dessas áreas de conhecimento como áreas potencialmente indutoras de transferências de conhecimentos entre as esferas da ciência e da tecnologia no Brasil.

No tocante às formas de interação entre a infraestrutura de CT&I e a esfera produtiva no contexto do CEIS, o estudo procurou identificar interações em áreas de conhecimento potencialmente críticas para sustentar o processo de PD&I em saúde 4.0. Observou-se a existência de mais de 26 mil interações universidade-empresa envolvendo 453 instituições brasileiras de C&T e quase 5 mil instituições parceiras. Deste total, mais da metade das interações envolveu as grandes áreas de ciências da saúde e biológicas. Na medida em que essas interações assumem diferentes formas de relacionamento, com maior ou menor impacto relativo na construção de capacitações para inovação no setor produtivo, o estudo buscou identificar as interações envolvendo um indicador de uso ou registro de software para a realização das atividades de P&D dos grupos de pesquisa envolvidos nessas interações, como um indicador para o desenvolvimento em saúde 4.0. A partir deste recorte foi possível identificar a existência de 1.391 interações nas áreas de ciências da saúde e ciências

biológicas, envolvendo 140 instituições e 635 instituições parceiras, com destaque para áreas de conhecimento como medicina e ciência da computação.

A análise das interações estabelecidas entre grupos de pesquisa acadêmicos e demais atores do sistema nacional de inovação a partir dos dados do DGP-CNPq demonstra uma potencial capilaridade da infraestrutura de CT&I brasileira com empresas e demais elos do Complexo Econômico Industrial da Saúde em áreas potencialmente críticas para inovação no campo da saúde 4.0. Entretanto, observou-se também que tais interações se encontram ainda muito restritas a relações estritamente acadêmicas, envolvendo universidades e institutos de pesquisa nacionais e internacionais nas áreas de medicina, ciências da computação e engenharia elétrica. Da mesma forma, a análise da distribuição geográfica destas interações aponta para as mesmas assimetrias observadas no tocante à distribuição de instituições de pesquisa, pesquisadores e cursos de pós-graduação. Os dados analisados revelam as universidades e instituições de pesquisa que apresentam potencial de se engajarem progressivamente em relacionamentos universidade-empresa, comparativamente aos indicadores de interação estritamente acadêmica, mas que enfrentam desafios que precisam ser identificados a fim de serem superados. Em termos gerais de interação universidade-empresa, a Universidade de São Paulo e a Universidade Federal do Rio de Janeiro, conjuntamente com a Fundação Oswaldo Cruz, se destacam pela sua centralidade na formação das redes universidade-empresa, refletindo o potencial indutor destas instituições em termos de uma densificação futura dessas redes por meio da incorporação de novos parceiros e do aumento do grau das interações indicado pelas pontes de integração atualmente constituídas por estas instituições na estrutura da rede.

Em termos gerais, a capacidade de inovação das firmas brasileiras de produtos e serviços relacionados à 4ª Revolução Tecnológica em saúde está crescentemente condicionada ao fortalecimento de uma infraestrutura de CT&I em saúde capaz de lidar com o caráter crescentemente interdisciplinar e multidisciplinar associado ao processo de inovação no campo da saúde 4.0 e capaz não apenas de gerar novas combinações de conhecimentos em saúde 4.0, mas também de transbordar os conhecimentos da esfera da ciência para a esfera da tecnologia, impulsionando a geração de novas aplicações comercializáveis neste segmento pela base produtiva que compõe o Complexo Econômico Social da Saúde em âmbito nacional.

Apesar das potencialidades ressaltadas pelos avanços científicos logrados pela estrutura de ciên-

cia brasileira refletidos no aumento expressivo de pesquisadores, grupos e linhas de pesquisa e publicações internacionalmente indexadas, a posição irrefutável de atraso relativo do Brasil em termos de depósito de famílias de patentes em saúde 4.0 e os desafios enfrentados pelo País em termos da intensificação dos fluxos de conhecimentos entre a estrutura de ciência e tecnologia brasileira e a base produtiva do Complexo Econômico da Saúde no contexto da revolução 4.0, coloca atualmente o Brasil na posição alarmante de “*late comer country*” na corrida pela expansão da fronteira de conhecimentos científico-tecnológicos em temas relacionados às aplicações da revolução 4.0 em saúde.

A posição de atraso relativo diante da progressiva redução da janela de oportunidades aberta neste campo deve ser compreendida em termos de oportunidades e desafios que precisam ser identificados e superados em tempo hábil, de forma a permitir que as empresas e o conjunto de instituições que compõem o Complexo Econômico Industrial da Saúde no Brasil sejam capazes de realizar um esforço de *catch-up* tecnológico, de modo a se aproximarem da fronteira tecnológica da saúde 4.0 e explorarem de forma ampla e irrestrita as oportunidades abertas neste campo tecnológico. Entretanto, a identificação e a superação destes desafios requerem uma coordenação sistêmica de ações e de políticas públicas de C,T&I e saúde, conjuntamente com um pacote de políticas industriais alinhadas com um projeto de desenvolvimento brasileiro de longo prazo, que seja capaz de ampliar o bem-estar e as condições de acesso da população aos novos produtos e serviços em saúde, em busca de um determinado grau de autonomia do País e de redução da sua dependência em relação a importações nestes segmentos.

Para muito além de uma postura isolacionista diante dos processos de globalização e desintegração dos elos das cadeias produtivas em diversos segmentos de atividade em termos globais, a importância das colaborações internacionais em ciência e tecnologia em temas relacionados à saúde no contexto da revolução 4.0 indica a necessidade urgente de se pensar alternativas de engajamento em fluxos de bens, serviços e conhecimentos em âmbito global que sejam benéficas para a inserção brasileira na economia global, visando estabelecer uma trajetória de crescimento virtuoso da economia brasileira e de superação de eventuais restrições ao desenvolvimento econômico e social, especialmente em saúde, evitando dessa forma trajetórias de crescimento empobrecedor relacionadas, em grande parte, a posições de atraso produtivo e tecnológico.

## Próximos passos

O estudo logrou avançar na caracterização dos impactos da revolução 4.0 sobre os condicionantes da infraestrutura de CT&I em saúde no mundo e no Brasil a partir de diferentes aspectos relativos à produção científica e tecnológica, formação de recursos humanos e formas de articulação com a base produtiva. Entretanto, observa-se a necessidade de avançar na compreensão sobre os condicionantes da dinâmica de inovação no campo da saúde 4.0 a partir da incorporação de novas variáveis na análise.

Dois aspectos em particular são destacados.

Em primeiro lugar, observa-se a necessidade de um refinamento no tocante ao mapeamento das competências técnico-científicas no campo da saúde 4.0 no Brasil. A análise dos dados das bases do CNPq e Capes permitiram um mapeamento de um conjunto mais amplo de áreas de conhecimento, pesquisadores e grupos de pesquisa que revelam o potencial do sistema científico-tecnológico brasileiro na produção de conhecimentos científicos no campo da saúde 4.0, tendo em vista o caráter interdisciplinar e multidisciplinar deste campo de conhecimento. Adicionalmente, foram identificados grupos de pesquisa efetivamente atuando no campo da saúde 4.0. Entretanto, com as informações disponíveis não foi possível caracterizar em profundidade as tarefas desenvolvidas por esses grupos e os pesquisadores que efetivamente estão atuando no campo da saúde 4.0 nem avaliar a natureza das articulações destes grupos com empresas e demais elementos do sistema de inovação em saúde. Para a identificação de grupos de pesquisa efetivamente envolvidos em atividades relacionadas à saúde 4.0, e principalmente para a avaliação dos desafios enfrentados por estes grupos para desenvolverem suas atividades e, também, para estabelecerem colaborações com a base produtiva do CEIS no contexto da revolução 4.0 que promovam fluxos efetivos de conhecimentos entre as esferas da ciência e da tecnologia, propõe-se a realização de um estudo baseado na coleta primária de dados através da aplicação de questionários e entrevistas estruturadas com os líderes dos grupos de pesquisa identificados pela busca parametrizada apresentada neste estudo.

Em segundo lugar, por restrições de tempo e acesso a dados, o estudo não logrou avançar num outro elemento essencial para caracterização da infraestrutura de CT&I em saúde 4.0 e que remete aos padrões de organização e financiamento das atividades de inovação em saúde no

Brasil. Tal elemento se refere à estimativa dos investimentos públicos e privados em atividades de CT&I no campo da saúde em geral e no campo da saúde 4.0, no Brasil e no mundo, tendo em vista a evolução dos montantes investidos pelas diferentes fontes de fomento, a participação relativa destes investimentos nos gastos totais em saúde no País e a importância relativa dos gastos com P&D em saúde no Brasil em relação ao padrão global e de países selecionados. Tal análise envolve também uma compreensão sobre o montante total de gastos com P&D em saúde no País em relação ao PIB e em relação aos gastos totais em saúde, como também sobre a participação relativa de diferentes atores institucionais nos gastos totais, tais como as diferentes instâncias de governo (estadual e federal), indústria, agências públicas e privadas de fomento, academia e institutos de pesquisa, entre outros.

No tocante aos investimentos em P&D na área da saúde cabe ressaltar que, de acordo com dados da OMS (Global Observatory on Health R&D), apesar dos investimentos globais em Pesquisa e Desenvolvimento na área da saúde representarem montantes de centenas de bilhões de dólares anualmente, observa-se uma forte assimetria na distribuição destes fundos entre países, regiões, ao mesmo tempo que tais gastos frequentemente mostram-se pouco alinhados com as necessidades globais de saúde pública. Países com renda mais elevada têm, em média, quarenta vezes mais pesquisadores em saúde do que os países de baixa renda. Com base em dados de sessenta países observa-se que a disparidade no investimento significa que o número de trabalhadores da pesquisa em saúde por milhão de habitantes nos países pode variar, por exemplo, de 1.140 em Cingapura a 0,2 no Zimbábue (WHO, 2020).

Por fim, o conjunto de dados de artigos e patentes relacionados à revolução 4.0 no contexto da saúde abre oportunidade para uma avaliação estrita da importância das colaborações internacionais em relação aos indicadores de impacto bibliométrico de artigos e patentes neste campo. Os dados apresentados neste estudo indicam a validade da hipótese de correlação positiva entre colaborações e variáveis de impacto, entretanto, por não ser objeto principal de estudo, não foram suficientes para ratificá-la. A validação desta hipótese requer uma análise mais detalhada desses dados no nível dos diferentes países envolvidos nos esforços tecnológicos. Os resultados de esforços de pesquisa futuros neste tema podem desvendar alternativas possíveis para a inserção internacional brasileira nessas atividades.

Dessa forma, propõe-se que os desdobramentos deste estudo possam vir a contemplar pelo menos três novas frentes de investigação. A primeira relacionada à coleta de dados primários a fim de identificar e detalhar as formas de atuação de grupos de pesquisa e instituições no Brasil que desenvolvem linhas de pesquisa relacionadas ao campo da saúde 4.0.

A segunda relacionada ao detalhamento das formas e fontes de financiamento existentes hoje no País para inovação em saúde e, particularmente, no campo da saúde 4.0. E uma terceira relacionada ao avanço dos estudos das redes de colaboração internacional em temas referentes à saúde 4.0 e à possível correlação entre o engajamento dos países nessas redes e o impacto sobre os indicadores qualitativos da produção científico-tecnológica de cada país.

## Referências

- ALVES, N. Um estudo prospectivo das empresas de biotecnologia em saúde humana no Brasil. Dissertação (Mestrado em Economia). Faculdade de Economia. Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2017.
- CHIARINI, T. A Ciência. In: RAPINI et al., (orgs) A Economia da Ciência, Tecnologia e Inovação: Fundamentos Teóricos e a economia global. Editora Prismas, p.131-168, 2017.
- ETZKOWITZ, H. LEYDESDORFF, L. The dynamics of innovation: from National Systems of Innovation and Mode 2 to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Policy Research*, v.29, p. 109-23. 2000.
- FORAY, D. LISSONI, F. University Research and Public-Private Interaction. In: HALL, B. ROSEMBERG, N. (orgs). *Handbook of The Economics of Innovation*, v.1.Elsevier B.V. p.276-308. 2010.
- FORAY, P. The Economics of Knowledge. Cambridge M.A: The MIT Press, 287p., 2006
- FREEMAN, C.; LOUÇÃ, F. *As time goes by: from the industrial revolutions to the information revolution*. Oxford: Oxford University Press, 2002.
- GADELHA, C. A. G. (Ed.). *A dinâmica do sistema produtivo da saúde: inovação e Complexo Econômico-Industrial*. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2012.

GADELHA, C. A. G. et al. O Complexo Econômico-Industrial da Saúde no Brasil: formas de articulação e implicações para o SNI em saúde. *Revista Brasileira de Inovação*, v. 12, n. 2, p. 251, 20 ago. 2013.

GADELHA, C. A. G.; TEMPORÃO, J. G. Desenvolvimento, inovação e saúde: a perspectiva teórica e política do Complexo Econômico-Industrial da Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 23, n. 6, p. 1891-1902, jun. 2018.

GELIJNS, A. C.; ROSENBERG, N. The changing nature of medical technology Development. In: *Sources of Medical Technology: Universities and Industry*. Washington: National Academies Press, p. 3-14 1995.

GIBBONS, M. JOHNSTON, R. The roles of science in technological Innovation, *Research Policy*, v.3, 220-242. 1974.

HIRSCH, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 102, n. 46, p.16569-16572, nov. 2005.

KLEVORICK, A.K. LEVIN, R.C. NELSON, R.R. WINTER, S.G., (1995). "On the sources and significance of interindustry differences in technological opportunities". *Research Policy*, v. 24, p. 185-205. 1995.

LOPES, J. et al.. Health 4.0 Challenges for an Orderly and Inclusive Innovation. *IEEE Technology and Society Magazine*, p.17-19, sept. 2019.

MARTÍNEZ, C. Patent families: When do different definitions really matter? *Scientometrics*, v.86, p. 39-63, 2011.

MOWERY, D. SAMPAT, B. Universities in National Inovations Systems. In: FAGERBERG, J. et al. (orgs). *The Handbook of innovation*. Oxford University press, 2005.

OCDE. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *OECD Patent Statistics Manual*, 2009.

PEREZ, C. Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems. *Futures*, v. 15, n. 5, p. 357-375, out. 1983.

POWELL, W. W.; GRODAL, S. *Networks of Innovators*. [s.l.] Oxford University Press, 2006.

SCHMOCH, U. Concept of a Technology Classification for Country Comparisons. *Final Report to the World Intellectual Property Organisation (WIPO)*, jun. 2008.

SCHWAB, K. *The fourth industrial revolution*. First U.S. edition ed. New York: Crown Business, 2016.

STEPHAN, P. In: HALL, B. ROSEMBERG, N. (orgs). *The Economics of Science. Handbook of The Economics of Innovation*, v.1.Elsevier B.V. p.217-273. 2010.

VARGAS, M. A.; BRITTO, J. Scientific and technological capabilities in health-related areas: opportunities, challenges, and interactions with the industrial sector. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 32, S1-S12, 2016.

VARGAS, M. ALVES, N. MREJEN, M. Ciência, tecnologia e inovação em tempos de pandemia: implicações da Covid-19. *Cadernos do Desenvolvimento*, Rio de Janeiro, vol. 16, n. 28, p. 145-172, jan.-abr. 2021.

WHO. World Health Organization. *Global Observatory on Health R&D*. Disponível em: <<https://www.who.int/research-observatory/en/>>. Acesso em: 26 out. 2020.

## Anexo 1

**Tabela A1 – Compatibilização de áreas de conhecimento Web of Science e áreas de conhecimento CNPq e Capes**

Grande Área WOS	Área WOS	Área CNPq/Capes	Grande Área CNPq/Capes
Ciências da vida e biomedicina	Allergy (Alergia)	ALERGOLOGIA E IMUNOLOGIA CLÍNICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Anatomy & Morphology (Anatomia e morfologia)	ANATOMIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		MORFOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		ANATOMIA PATOLÓGICA E PATOLOGIA CLÍNICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ANATOMIA PATOLÓGICA ANIMAL	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
	Anesthesiology (Anestesiologia)	ANESTESIOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Biochemistry & Molecular Biology (Bioquímica e biologia molecular)	BIOQUÍMICA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		BIOLOGIA MOLECULAR	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		PROCESSOS BIOQUÍMICOS	ENGENHARIAS
	Ciências da vida e biomedicina		OPERAÇÕES CARACTERÍSTICAS DE PROCESSOS BIOQUÍMICOS
Biophysics (Biofísica)		BIOFÍSICA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Biotechnology & Applied Microbiology (Biotecnologia e microbiologia aplicada)		BIOTECNOLOGIA	MULTIDISCIPLINAR
		MICROBIOLOGIA APLICADA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Cardiovascular System & Cardiology (Sistema cardiovascular e cardiologia)		CARDIOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
Cell Biology (Biologia celular)		CITOLOGIA E BIOLOGIA CELULAR	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Critical Care Medicine (Medicina intensiva)			CIÊNCIAS DA SAÚDE
Dentistry, Oral Surgery & Medicine (Odontologia, cirurgia oral e medicina)		CLÍNICA ODONTOLÓGICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ODONTOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		PERIODONTIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	MATERIAIS ODONTOLÓGICOS	CIÊNCIAS DA SAÚDE	

Ciências da vida e biomedicina	Dentistry, Oral Surgery & Medicine (Odontologia, cirurgia oral e medicina)	ODONTOLOGIA SOCIAL E PREVENTIVA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ODONTOPEDIATRIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		CIRURGIA BUCO-MAXILO-FACIAL	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ENDODONTIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ORTODONTIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Dermatology (Dermatologia)	DERMATOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Developmental Biology (Biologia do desenvolvimento)		CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
	Emergency Medicine (Medicina de urgência)		CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Endocrinology & Metabolism (Endocrinologia e metabolismo)	ENDOCRINOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Entomology (Entomologia)	ENTOMOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Evolutionary Biology (Biologia evolucionária)	BIOLOGIA GERAL	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS	
	TAXONOMIA DOS GRUPOS RECENTES	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS	
Ciências da vida e biomedicina	Gastroenterology & Hepatology (Gastroenterologia e hepatologia)	GASTROENTEROLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Genetics & Heredity (Genética e hereditariedade)	GENÉTICA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		GENÉTICA MOLECULAR E DE MICROORGANISMOS	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		GENÉTICA E MELHORAMENTO DOS ANIMAIS DOMÉSTICOS	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
		MELHORAMENTO VEGETAL	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
		PRODUÇÃO E BENEFICIAMENTO DE SEMENTES	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
	Immunology (Imunologia)	IMUNOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
	Life Sciences Biomedicine Other Topics (Outros tópicos de ciências biomédicas da vida)	ENGENHARIA BIOMÉDICA	ENGENHARIAS
		SAÚDE E BIOLÓGICAS	MULTIDISCIPLINAR
	Medical Informatics (Informática médica)	MODELAGEM DE SISTEMAS BIOLÓGICOS	ENGENHARIAS
Medical Laboratory Technology (Tecnologia laboratorial médica)		CIÊNCIAS DA SAÚDE	

Ciências da vida e biomedicina	Microbiology (Microbiologia)	MICROBIOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		HISTOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		MICROBIOLOGIA AGRÍCOLA	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
	Mycology (Micologia)		CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
	Neurosciences & Neurology (Neurociência e neurologia)	NEUROLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		PSICOBIOLOGIA	CIÊNCIAS HUMANAS
	Nursing (Enfermagem)	ENFERMAGEM	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ENFERMAGEM DE SAÚDE PÚBLICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ENFERMAGEM OBSTÉTRICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		ENFERMAGEM PEDIÁTRICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
Nutrition & Dietetics (Nutrição e dietética)	NUTRIÇÃO	CIÊNCIAS DA SAÚDE	
	NUTRIÇÃO E ALIMENTAÇÃO ANIMAL	CIÊNCIAS AGRÁRIAS	
Ciências da vida e biomedicina	Obstetrics & Gynecology (Obstetrícia e ginecologia)	GINECOLOGIA E OBSTETRICIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		SAÚDE MATERNO-INFANTIL	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Oncology (Oncologia)	CANCEROLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Ophthalmology (Oftalmologia)	OFTALMOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Orthopedics (Ortopedia)	ORTOPEDIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Otorhinolaryngology (Otorrinolaringologia)	CIRURGIA OTORRINOLARINGOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Parasitology (Parasitologia)	PARASITOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
	Pathology (Patologia)		
	Pediatrics (Pediatria)	PEDIATRIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Pharmacology & Pharmacy (Farmacologia e farmácia)	FARMACOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
FARMACOLOGIA BIOQUIMICA E MOLECULAR		CIÊNCIAS BIOLÓGICAS	
FARMÁCIA		CIÊNCIAS DA SAÚDE	

Ciências da vida e biomedicina		ANÁLISE E CONTROLE DE MEDICAMENTOS	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Physiology (Fisiologia)	BIOLOGIA E FISIOLOGIA DOS MICROORGANISMOS	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		FISIOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		FISIOLOGIA DOS ÓRGÃOS E SISTEMAS	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		FISIOLOGIA GERAL	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		FISIOLOGIA VEGETAL	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		NEUROFISIOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		Plant Sciences (Ciências das plantas)	FITOPATOLOGIA
	FITOSSANIDADE		CIÊNCIAS AGRARIAS
	FITOTECNIA		CIÊNCIAS AGRARIAS
BOTÂNICA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS		
Ciências da vida e biomedicina		TAXONOMIA DE CRIPTÓGAMOS	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
	Psychiatry (Psiquiatria)	PSIQUIATRIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Public, Environmental & Occupational Health (Saúde pública, ambiental e ocupacional)	SAÚDE COLETIVA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		SAÚDE PÚBLICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Radiology, Nuclear Medicine & Medical Imaging (Radiologia, medicina nuclear e imagiologia médica)	RADIOLOGIA MÉDICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		RADIOLOGIA ODONTOLÓGICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Rehabilitation (Reabilitação)	FISIOTERAPIA E TERAPIA OCUPACIONAL	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Reproductive Biology (Biologia reprodutiva)	PRODUÇÃO ANIMAL	CIÊNCIAS AGRARIAS
		REPRODUÇÃO ANIMAL	CIÊNCIAS AGRARIAS
	Research & Experimental Medicine (Medicina de pesquisa e experimental)		CIÊNCIAS DA SAÚDE
Respiratory System (Sistema respiratório)	PNEUMOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE	
Rheumatology (Reumatologia)	REUMATOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE	

Ciências da vida e biomedicina	Substance Abuse (Abuso de substâncias químicas)		CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Surgery (Cirurgia)	CIRURGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		CIRURGIA EXPERIMENTAL	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		CIRURGIA PLÁSTICA E RESTAURADORA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		CIRURGIA UROLÓGICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Toxicology (Toxicologia)	TOXICOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
	Transplantation (Transplante)		CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Tropical Medicine (Medicina tropical)		CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Urology & Nephrology (Urologia e nefrologia)	NEFROLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Veterinary Sciences (Ciências veterinárias)	CLÍNICA VETERINÁRIA	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MEDICINA VETERINÁRIA		CIÊNCIAS AGRÁRIAS	
MEDICINA VETERINÁRIA PREVENTIVA		CIÊNCIAS AGRÁRIAS	
Ciências da vida e biomedicina		PATOLOGIA ANIMAL	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
	Virology (Virologia)	EPIDEMIOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Zoology (Zoologia)	ZOOLOGIA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		ZOOLOGIA APLICADA	CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
		ZOOTECNIA	CIÊNCIAS AGRÁRIAS
	Fonoaudiologia e distúrbios da fala e linguagem	FONOAUDIOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
		PSICOLINGÜÍSTICA	LINGÜÍSTICA, LETRAS E ARTES
	Behavioral Sciences (Ciência comportamental)	PSICOLOGIA	CIÊNCIAS HUMANAS
	Environmental Sciences & Ecology (Ciências ambientais e ecologia)	CIÊNCIAS AMBIENTAIS	MULTIDISCIPLINAR
		MEIO AMBIENTE E AGRÁRIAS	MULTIDISCIPLINAR
SANEAMENTO AMBIENTAL		ENGENHARIAS	

Ciências da vida e biomedicina		ANÁLISE DE TRAÇOS E QUÍMICA AMBIENTAL	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		ECOLOGIA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		ECOLOGIA APLICADA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		ECOLOGIA DE ECOSSISTEMAS	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
	General & Internal Medicine (Medicina geral e interna)		MEDICINA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
			MEDICINA PREVENTIVA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
			CLÍNICA MÉDICA	CIÊNCIAS DA SAÚDE
	Geriatrics & Gerontology (Geriatria e gerontologia)		CIÊNCIAS DA SAÚDE	
Health Care Sciences & Services (Ciências e serviços da saúde)		CIÊNCIAS DA SAÚDE		
Hematology (Hematologia)	HEMATOLOGIA	CIÊNCIAS DA SAÚDE		
Ciências da vida e biomedicina	Infectious Diseases (Doenças contagiosas)	DOENÇAS INFECCIOSAS E PARASITÁRIAS	CIÊNCIAS DA SAÚDE	
	Integrative & Complementary Medicine (Medicina integrativa e complementar)	MEDICINA PREVENTIVA	CIÊNCIAS DA SAÚDE	
	Legal Medicine (Medicina legal)		CIÊNCIAS DA SAÚDE	
	Mathematical & Computational Biology (Biologia matemática e computacional)		CIÊNCIAS BIOLÓGICAS	
Ciências físicas	Chemistry (Química)	QUÍMICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		QUÍMICA ANALÍTICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		QUÍMICA DOS PRODUTOS NATURAIS	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		QUÍMICA INORGÂNICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
		QUÍMICA ORGÂNICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	

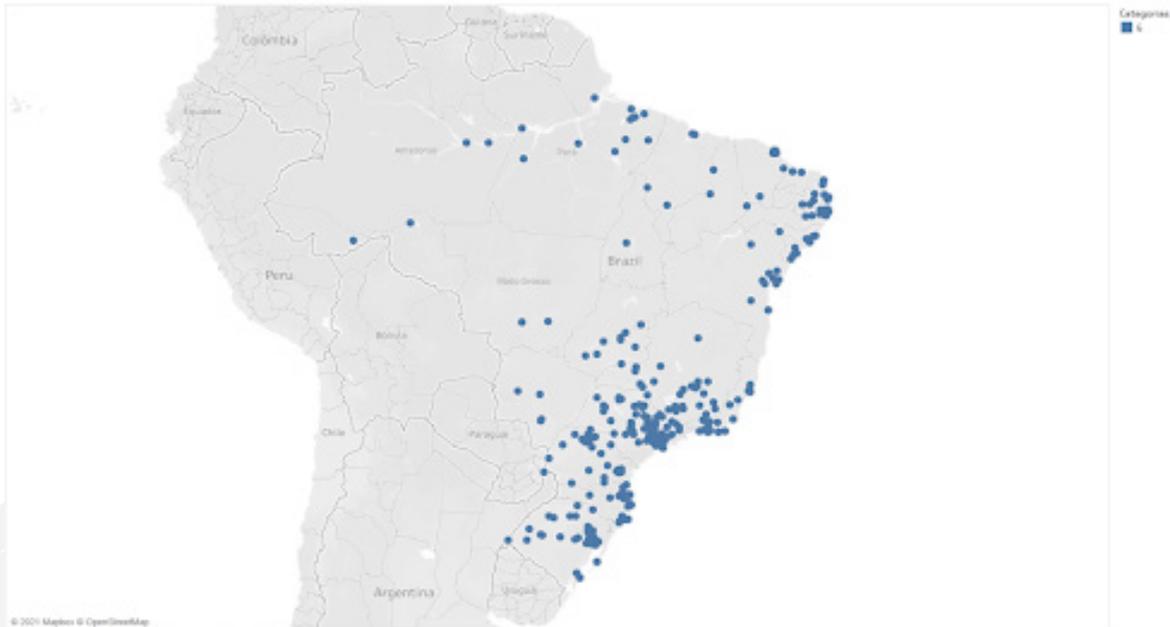
Ciências físicas		FÍSICO-QUÍMICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
		ENGENHARIA QUÍMICA	ENGENHARIAS
		PROCESSOS INDUSTRIAIS DE ENGENHARIA	ENGENHARIAS
	Optics (Óptica)		ENGENHARIAS
	Physics (Física)	FÍSICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
		FÍSICA DA MATÉRIA CONDENSADA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
	Mathematics (Matemática)	MATEMÁTICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
MATEMÁTICA APLICADA		CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
ESTATÍSTICA		CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA	
Ciências físicas		PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
		PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA APLICADAS	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
Ciências sociais	Social Sciences, Biomedical (Ciências sociais, biomédicas)		CIÊNCIAS HUMANAS
			CIÊNCIAS HUMANAS
	Psychology (Psicologia)	PSICOLOGIA	CIÊNCIAS HUMANAS
		PSICOLOGIA COGNITIVA	CIÊNCIAS HUMANAS
		PSICOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO HUMANO	CIÊNCIAS HUMANAS
		PSICOLOGIA DO ENSINO E DA APRENDIZAGEM	CIÊNCIAS HUMANAS
		PSICOLOGIA EXPERIMENTAL	CIÊNCIAS HUMANAS
PSICOLOGIA SOCIAL	CIÊNCIAS HUMANAS		
TRATAMENTO E PREVENÇÃO PSICOLÓGICA	CIÊNCIAS HUMANAS		

Tecnologia	Automation & Control Systems (Automação e sistemas de controle)	AUTOMAÇÃO ELETRÔNICA DE PROCESSOS ELÉTRICOS E INDUSTRIAIS	ENGENHARIAS
		SISTEMAS ELETRÔNICOS DE MEDIDAS E DE CONTROLE	ENGENHARIAS
		ENGENHARIA ELÉTRICA	ENGENHARIAS
	Computer Science (Ciência da computação)	CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
		ENGENHARIA DE SOFTWARE	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
		SISTEMAS DE COMPUTAÇÃO	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
		TELEINFORMÁTICA	CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
Materials Science (Ciência dos materiais)	MATERIAIS	MULTIDISCIPLINAR	
Microscopy (Microscopia)			
Tecnologia	Robotics (Robótica)	ROBÓTICA, MECATRÔNICA E AUTOMAÇÃO	ENGENHARIAS
	Science & Technology Other Topics (Outros tópicos de ciência e tecnologia)	ENGENHARIA / TECNOLOGIA / GESTÃO	MULTIDISCIPLINAR
	Spectroscopy (Espectroscopia)		
	Telecommunications (Telecomunicações)	SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES	ENGENHARIAS
	Acoustics (Acústica)		
	Imaging Science & Photographic Technology (Ciências de imagem e tecnologia fotográfica)		
	Instruments & Instrumentation (Instrumentos e instrumentação)	INSTRUMENTAÇÃO PARA MEDIDA E CONTROLE DE RADIAÇÃO	ENGENHARIAS
		GARANTIA DE CONTROLE DE QUALIDADE	ENGENHARIAS
	Transportation (Transporte)	ENGENHARIA DE TRANSPORTES	ENGENHARIAS
PLANEJAMENTO E ORGANIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE		ENGENHARIAS	

## ANEXO 2

### Dispersão geográfica das empresas nacionais parceiras dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq

Planilha 1



Mapa baseado em Longitude (gerada) e Latitude (gerada). Clique sobre detalhes sobre Categorias. Detalhes são mostrados para Município De Instituto Paroiss. A exibição está filtrada em Categorias, que mantém 6.

### Dispersão geográfica das empresas multinacionais parceiras dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq

Planilha 1



Mapa baseado em Longitude (gerada) e Latitude (gerada). Clique sobre detalhes sobre Categorias. Detalhes são mostrados para Município De Instituto Paroiss. A exibição está filtrada em Categorias, que mantém 7.

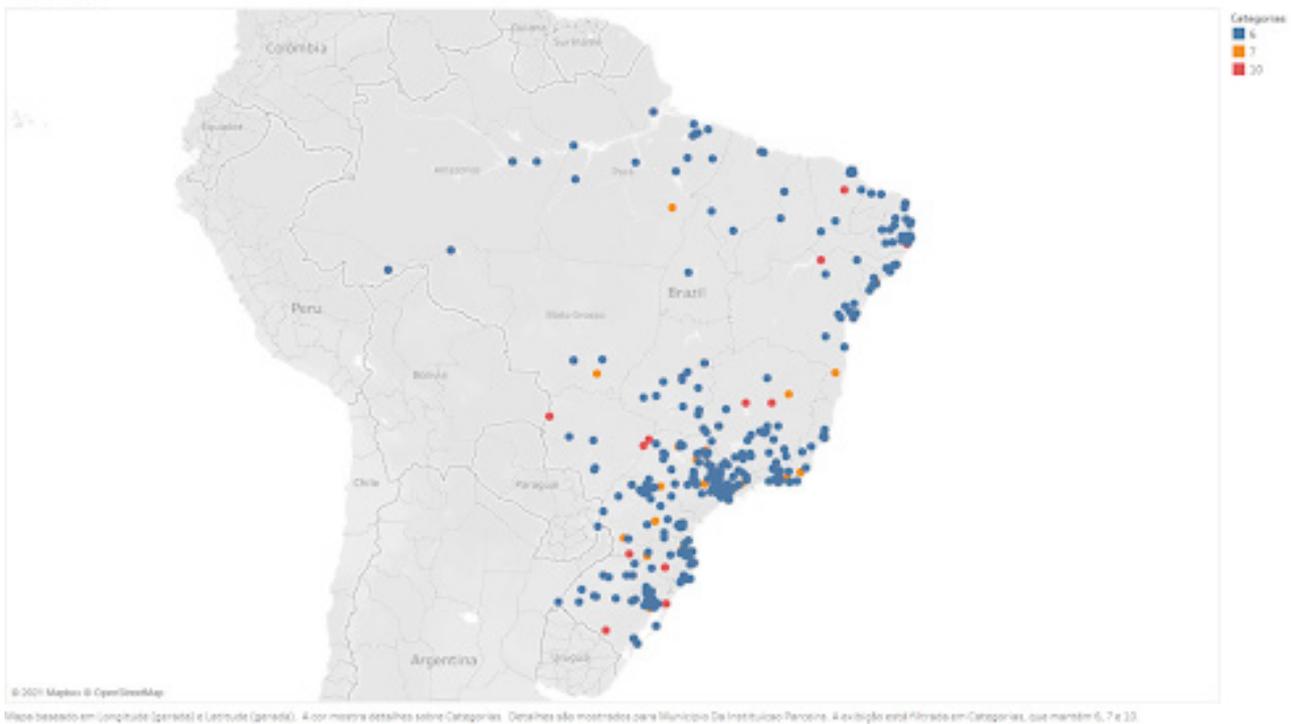
## Dispersão geográfica das empresas públicas parceiras dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq

Planilha 1



## Dispersão geográfica das empresas nacionais, multinacionais e públicas parceiras dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq

Planilha 1



## Dispersão geográfica dos hospitais parceiros dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq

Planilha 1





cee