



VIII ENEI
Encontro Nacional de
Economia Industrial e
Inovação

20 a 23 de Maio de 2024

POLÍTICA INDUSTRIAL E
ECONOMIA DO CONHECIMENTO:
NOVAS ESTRATÉGIAS DE
DESENVOLVIMENTO PARA O BRASIL



Dinâmica espacial do perfil das ocupações técnico-científicas da Economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil

Mabel Diz Marques^{*}
Raphael de Oliveira Silva^{**}
Gabriel Pinho^{***}

Resumo: Este artigo analisa a dinâmica espacial das ocupações técnico-científicas associadas à cadeia produtiva do hidrogênio de baixo carbono no Brasil. Ele se concentra nas indústrias extrativa e de transformação, bem como nos setores de gás e eletricidade, no período de 2006 a 2021. Utilizando dados da Relação Anual de Informações Sociais (Rais), classificou-se 64 ocupações técnico-científica (PoTec) (Suzigan et. al., 2006) com base no SENAI Nacional (Hoppe *et al.*, 2023) e na Classificação Brasileira de Ocupações. Os resultados revelam um crescimento consistente do perfil ocupacional PoTec, abrangendo Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e Técnico e Operacional, de 2006 a 2013, seguido por uma redução a partir de 2014 na Economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil. A região Sudeste apresenta a maior participação, seguida por Sul, Norte, Nordeste e Centro-Oeste, com concentração nas áreas urbanas. Conclui-se que políticas públicas e investimentos são essenciais para o desenvolvimento da economia do hidrogênio do baixo carbono no Brasil, visando a descentralização das ocupações e a promoção de energias limpas e sustentáveis.

Palavras-chave: Hidrogênio de baixo carbono; Economia sustentável; Mapeamento ocupacional; Transição energética; Desenvolvimento regional.

Código JEL: J01

Área Temática: 7.3 Inovação, desenvolvimento e sustentabilidade.

Spatial Dynamics of the Profile of Technical-Scientific Occupations in the low-carbon hydrogen Economy in Brazil

Abstract: This article analyzes the spatial dynamics of technical-scientific occupations associated with the low-carbon hydrogen production chain in Brazil. It focuses on the extractive and transformative industries, as well as the gas and electricity sectors, during the period from 2006 to 2021. Using data from the Annual List of Social Information (Rais), 64 technical-scientific occupations (PoTec) (Suzigan et al., 2006) were classified based on SENAI Nacional (Hoppe et al., 2023) and the Brazilian Classification of Occupations. The results reveal a consistent growth of the PoTec occupational profile, encompassing Research and Development (R&D) and Technical and Operational, from 2006 to 2013, followed by a reduction from 2014 onwards in the low-carbon hydrogen economy.

^{*} Consultor do SENAI CIMATEC; Doutora em Economia pela Universidade Federal da Bahia.

^{**} Consultor do SENAI CIMATEC; Doutorando em Economia pela Universidade Federal da Bahia.

^{***} Especialista III do SENAI CIMATEC; Doutor em Economia pela Universidade de Campinas

in Brazil. The Southeast region has the highest participation, followed by the South, North, Northeast, and Midwest, with a concentration in urban areas. The study concludes that public policies and investments are crucial for the development of Brazil's low-carbon hydrogen economy, aiming to decentralize these occupations and promote clean and sustainable energy sources.

Keywords: Low-carbon hydrogen; Sustainable economy; Occupational mapping; Energy transition; Regional development.

1. Introdução

A transição para um sistema energético sustentável é fundamental para mitigar os desafios das emissões de gases de efeito estufa e das limitações enfrentadas pelos setores com dificuldades na redução de carbono. Nesse contexto, o hidrogênio de baixo carbono, especialmente o hidrogênio verde (H2V), surge como uma opção promissora para a descarbonização da economia.

O hidrogênio verde é produzido a partir de fontes de energia renovável, como solar e eólica, sendo livre de emissões de gases de efeito estufa e poluentes. Isso o torna uma alternativa viável aos combustíveis fósseis durante a transição para uma economia de baixo carbono (GIZ, 2021). A economia do hidrogênio de baixo carbono vem ganhando importância globalmente, alinhando-se às estratégias de energia e sustentabilidade adotadas pelos países ao redor do mundo (IPCC, 2018; IRENA, 2023).

A expectativa de avanço tecnológico e crescimento econômico sustentável está relacionada à criação de novos empregos em diversos setores e habilidades (BEZDEK, 2018; SANDRI, HAYES, HOLDSWORTH, 2024; MEAGHER; DYRENFURTH, 2020). A União Europeia prevê a criação de 5,4 milhões de novos empregos até 2050 na produção de hidrogênio e indústrias associadas. A Alemanha planeja empregar cerca de 800.000 pessoas na economia do hidrogênio verde até 2050. Espera-se que outros países, incluindo o Brasil, também ofereçam incentivos significativos (HOPPE et al., 2023).

No Brasil, esforços têm sido empreendidos em políticas públicas em direção a economia do hidrogênio, como o Programa Nacional do Hidrogênio (PNH2), que busca acelerar a economia do hidrogênio de baixo carbono no país e aproveitar as oportunidades do mercado global de produtos de baixa emissão de carbono e sua cadeia de suprimentos. Mais recentemente, o SENAI Nacional e GIZ buscaram identificar as principais competências e profissões para atuar na cadeia do hidrogênio no país (HOPPE et al., 2023). No entanto, ainda existe uma limitação em compreender a distribuição espacial dessas ocupações na indústria (extrativa e transformação) e no setor de Eletricidade e Gás no território nacional, inclusive uma lacuna de mapeamento do perfil ocupacional técnico-científico na cadeia do hidrogênio no Brasil.

Neste contexto, surge uma questão crucial: Qual é o padrão espacial da distribuição das ocupações com habilidades e qualificações necessárias para a economia do hidrogênio no Brasil? Houve alguma mudança nessa distribuição ao longo da década de 2006 a 2021? Existe uma correspondência entre a distribuição do perfil ocupacional associado à economia de baixo carbono e os recursos necessários para a produção de hidrogênio com baixo teor de carbono no Brasil, como água e energia renovável para o hidrogênio verde?

Num cenário de expansão do mercado e busca pela neutralidade das emissões de carbono até 2050 implica que o crescimento das indústrias de hidrogênio e células a combustível levará a vastas e novas oportunidades de emprego, e estas serão criadas em uma grande variedade de indústrias, habilidades, tarefas e ganhos. (MEAGHER; DYRENFURTH, 2020; IRENA, 2022; WORLD ECONOMIC FORUM, 2023; SANDRI, HAYES, HOLDSWORTH, 2024).

Logo, este estudo busca analisar a dinâmica espacial das ocupações tecnológicas associadas à cadeia da economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil. Além disso, busca identificar a distribuição e evolução dessas ocupações no território brasileiro no âmbito da indústria (extrativa e de transformação) e Eletricidade e Gás no país. Compreender a distribuição espacial das ocupações no território associadas à cadeia do hidrogênio é essencial para uma transição bem sucedida para uma economia de baixo carbono. Para tanto, a pesquisa utiliza dados oficiais da Relação Anual de Informações Sociais (Rais), classifica 64 ocupações técnico-científica (PoTec) (Suzigan et. al., 2006) com base no SENAI Nacional (Hoppe et al., 2023) e na Classificação Brasileira de Ocupações.

O estudo está estruturado em três seções, além desta breve introdução e considerações finais. Na próxima seção, revisita aspectos relacionados à transição energética e sustentabilidade. Na sequência, apresenta-se os aspectos metodológicos inerentes a este trabalho. Por fim, os principais resultados.

2. Economia do Hidrogênio e Sustentabilidade

A transição energética é um desafio global urgente, pois é crucial reduzir as emissões de gases de efeito estufa e tornar a matriz energética mais sustentável. No contexto brasileiro, a economia do hidrogênio de baixo carbono surge como uma alternativa promissora. O Brasil possui um potencial solar significativo, com uma média de 6,5 kWh/m² por dia em muitas regiões, e um potencial instalável de 143 GW de energia eólica em todo o país (EPE, 2021). Isso confere ao Brasil uma vantagem competitiva na produção de hidrogênio de baixo teor de carbono.

A viabilidade econômica da produção de hidrogênio verde, por exemplo, está intimamente ligada ao custo de produção e à eficiência das tecnologias envolvidas. Estimativas apontam para uma significativa redução nos custos da eletrólise com o avanço tecnológico, com projeções otimistas de uma redução adicional de 70% até 2030 em comparação com os custos atuais (IEA, 2022). Essa tendência é confirmada por experiências em países pioneiros, como a Alemanha, onde os custos de produção de hidrogênio verde diminuíram substancialmente nos últimos anos (BMW_i, 2020).

A infraestrutura e logística relacionadas à produção e distribuição de hidrogênio verde são elementos críticos para a consolidação dessa economia emergente. O Brasil apresenta um potencial significativo, podendo alcançar uma capacidade de produção de 115 GW de hidrogênio verde até 2050 (EPE, 2021). No entanto, para atingir esse potencial, serão necessários investimentos consideráveis na expansão da infraestrutura de transporte e distribuição, a fim de viabilizar essa escala (EPE, 2022).

Neste contexto, a introdução do hidrogênio de baixo carbono na matriz energética brasileira desempenha um papel crucial na diversificação e no aumento da resiliência do sistema energético nacional. Atualmente, o Brasil depende fortemente da geração de energia hidrelétrica, o que o torna vulnerável a eventos climáticos extremos e variações sazonais (EPE, 2021). A integração do hidrogênio de baixo carbono pode mitigar esses riscos, proporcionando uma fonte de energia complementar e estável, reduzindo a dependência exclusiva de uma única fonte de energia e fortalecendo a segurança energética do país.

A transição para a economia do hidrogênio de baixo carbono também implica avaliação dos impactos socioeconômicos e ambientais. Estudos indicam a criação de empregos diretos e indiretos significativos, além de potenciais ganhos na balança comercial devido à exportação da cadeia do hidrogênio (EPE, 2022). No entanto, é imperativo considerar os aspectos ambientais, como a gestão sustentável da água e a pegada de carbono associada à produção (IEA, 2022).

Apesar do potencial evidente, a implementação da economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil enfrenta desafios significativos (Hoppe *et al.*, 2023). Dentre eles, destaca-se a necessidade de políticas públicas e regulamentações claras que incentivem investimentos e promovam a competitividade do setor (BMW_i, 2020). A integração harmoniosa com a matriz energética existente e a resolução de questões logísticas são pontos cruciais a serem considerados (EPE, 2022).

Além disso, o perfil ocupacional qualificado representa um elemento crucial na efetividade no fomento e integração da cadeia produtiva do hidrogênio de baixo carbono no país. É imperativo que o Brasil disponha de profissionais devidamente capacitados e especializados para atuar nesse setor. Esses indivíduos devem possuir um nível de qualificação compatível com as exigências técnicas e operacionais inerentes à produção e distribuição do hidrogênio verde. Tal perfil habilita não apenas a eficiência e segurança dos processos, mas também impulsiona a inovação e competitividade no mercado de energia renovável.

Bezdek (2018) investigou a economia do hidrogênio e os empregos futuros nos EUA, discutindo sua atual economia e tecnologias. O estudo identifica os novos empregos que surgirão na economia em expansão do hidrogênio/célula de combustível, estima o salário médio nos EUA para cada emprego, o nível de escolaridade mínimo exigido e o diploma universitário recomendado para os requisitos educacionais avançados. Sandri, Hayes e Holdsworth (2024) investigaram o aprimoramento de competências para um futuro de baixo carbono na Austrália, especificamente na adaptação de ocupações

para atuar com hases, dentre eles o hidrogênio.

No Brasil, mais recentemente foi publicada uma pesquisa sobre a demanda por capacitações profissionais no mercado de hidrogênio verde para exportação no país (Hoppe *et. al*, 2023). O estudo identifica os requisitos para trabalhar na indústria do hidrogênio, as atividades básicas associadas ao setor, as políticas e procedimentos ambientais, a aplicação de normas, códigos e práticas de saúde e segurança, e as competências necessárias para o transporte e carregamento de hidrogênio, bem como os futuros profissionais do mercado de hidrogênio. Apesar dos avanços, existe uma lacuna de pesquisa acadêmica sobre o mapeamento das ocupações associadas à cadeia do hidrogênio no âmbito nacional.

Com base nessa lacuna e na necessidade de compreender a dinâmica espacial da distribuição de ocupações com expertise específica na economia do hidrogênio de baixo carbono, emerge como um componente estratégico para o sucesso e sustentabilidade dessa transição energética. Assim, a economia do hidrogênio de baixo carbono apresenta um potencial transformador para a sustentabilidade energética no Brasil. Com recursos abundantes e uma trajetória de redução de custos, o país pode posicionar para liderar nessa transição (IEA, 2022). No entanto, é importante superar desafios regulatórios e logísticos para efetivar plenamente esse potencial. O sucesso nessa empreitada não apenas fortalecerá a segurança energética do país, mas também contribuirá para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se com os objetivos globais de combate às mudanças climáticas.

3. Fonte de informações e procedimentos metodológicos

A base utilizada neste estudo foram os microdados da Relação Anual de Informações Sociais (Rais), base de dados administrativa de periodicidade anual do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) que cobre 97% dos trabalhadores formais no Brasil entre os anos de 2006 e 2021 e contém outros dados, como renda, nível educacional dos trabalhadores, idade, CBO, dentre outros.

Com base nesses dados, o primeiro passo do estudo foi unificar a classificação ocupações relacionadas à demanda por capacitações associadas a economia do hidrogênio realizada pelo SENAI Nacional (Hoppe *et al.*, 2023) com a Rais para cada CBO. O segundo passo foi selecionar ocupações da economia do hidrogênio vinculadas à base tecnológica. Empregou-se a *proxy* de pessoal ocupado técnico-científico (PoTec). O PoTec corresponde à soma dos valores associados a dois grupos ocupacionais específicos: (i) Pesquisa e Desenvolvimento (Engenharias) e (ii) Técnicos e Operacional (Técnicos e tecnológicos) conforme propõe Suzigan *et al.* (2006) e disponíveis na Relação Anual de Informações Sociais (Rais). Ao se empregar o PoTec pode-se, então, acompanhar a evolução dos esforços em atividades tecnológicas a cada ano. Adicionalmente, os dados foram restritos às atividades econômicas da indústria extrativa, transformação e Eletricidade de Gás.

Após esse processo, encontramos 64 ocupações PoTec associadas à Economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil. Ademais, para sistematizar e apresentar os resultados foi utilizado o software de geoprocessamento QGIS versão 3.4.3 e tabelas com a tabulação por classificação regional (microrregiões) e unidade federativa.

4. Resultados

Ao longo desta seção, apresentam-se os principais resultados obtidos a partir da aplicação dos procedimentos indicados anteriormente. Inicialmente, na subseção 4.1, apresenta-se a trajetória das ocupações associadas à economia do hidrogênio no Brasil. Em seguida, na subseção 4.2, investiga-se a distribuição espacial dessas ocupações ao longo do período entre 2006 e 2021.

4.1 Ocupações Técnicas e Científicas na Economia do Hidrogênio de Baixo Carbono no Brasil

Ao examinar a trajetória do pessoal ocupado técnico científico em atividades vinculadas à economia do baixo carbono entre 2006 e 2021, a primeira conclusão que se pode chegar é que o período é marcado no primeiro momento por uma leve expansão de ocupações de base técnico e científica no período de

2006 a 2013 no país, seguida de uma retração no período que sucede (2014 a 2021). De fato, conforme indicado no Gráfico 1, em 2006 foram identificadas 208.080 ocupações PoTec ao passo que em 2013 esse valor chegou à 295.832 e em 2021 271.757 ocupações PoTec.

Esse crescimento mais acelerado do primeiro momento, sugere um processo de convergência da implementação de importantes políticas públicas da primeira década dos anos 2000. Nesse período, o Estado brasileiro avançou significativamente na consolidação de instituições voltadas à Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), bem como na formulação de políticas de financiamento e na adoção de ampla legislação de incentivo. Adicionalmente, a conjuntura favorável caracterizada pelo crescimento da economia nacional e o comprometimento governamental com programas como o Programa de Aceleração do Crescimento, a Política de Desenvolvimento Produtivo (2008-2010) e o Programa de Sustentação do Investimento (2009-2015) contribuíram para impulsionar o setor industrial e, consequentemente, o perfil ocupacional PoTec, que engloba atividades técnicas e operacionais relacionadas à economia do hidrogênio de baixo carbono.

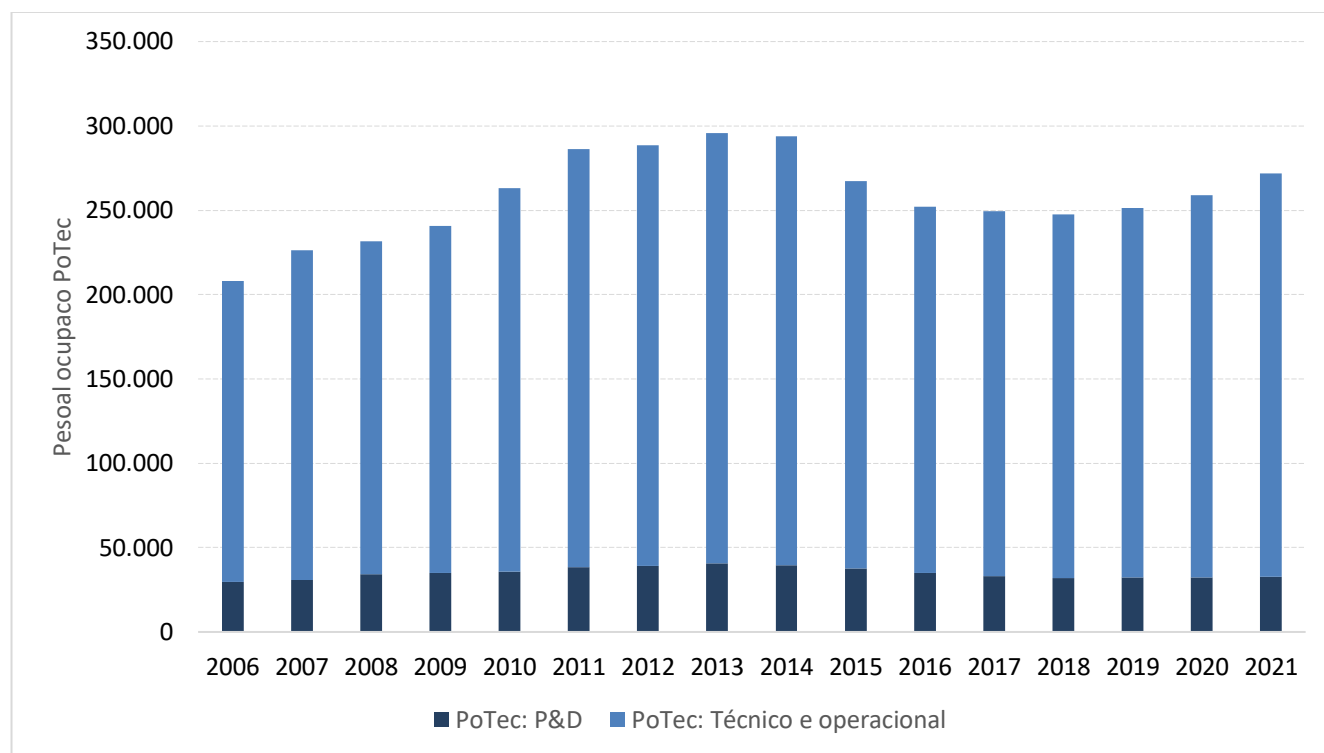
No início dos anos 2000, uma série de instrumentos foram mobilizados com o objetivo de promover a inovação no Brasil. Destacam-se a Lei de Inovação e a Lei do Bem, que desempenharam um papel fundamental no fortalecimento do ambiente de inovação, estabelecendo diretrizes e oferecendo incentivos fiscais para empresas e instituições de pesquisa conduzirem projetos inovadores. Assim, o marco legal de incentivo à inovação foi fortalecido, permitindo a utilização de mecanismos como os fundos setoriais e a subvenção econômica (Santana et al, 2019).

Além disso, o financiamento público teve um papel crucial nesse contexto, sendo coordenado por instituições como o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Essas entidades forneceram suporte financeiro para projetos de inovação, impulsionando os esforços de pesquisa e desenvolvimento no país ao longo da primeira década do século XXI (Santana et al, 2019).

Por outro lado, a redução do perfil ocupacional PoTec no período que sucede (2014-2021) pode ser atribuída a diversos fatores interconectados no âmbito nacional e internacional. Entre eles, destacam-se o cenário econômico adverso, caracterizado por policrises e recessões (Monteiro Neto; Colombo; Rocha Neto, 2023), que impactou negativamente a demanda por mão de obra qualificada em algumas áreas da economia, incluindo aquelas relacionadas à energia e economia do hidrogênio. Além disso, a instabilidade política e as incertezas no ambiente regulatório geraram um ambiente desfavorável para investimentos em inovação e projetos de desenvolvimento tecnológico, levando à diminuição das oportunidades de emprego para profissionais com perfil ocupacional técnicos e tecnológicos. Ademais, é possível que a concentração dessas ocupações em determinadas regiões tenha gerado desafios em termos de mobilidade e realocação de profissionais, contribuindo para a redução do quantitativo de pessoal ocupado nessa área em outras localidades.

Do ponto de vista dos grupos ocupacional PoTec, em média, foram empregados 34.888 profissionais associados à pesquisa e desenvolvimento na economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil, enquanto as ocupações ligadas às atividades técnicas e operacionais totalizaram 223.403 ocupações no mesmo período. As tendências observadas para essas ocupações refletiram o padrão geral, com um crescimento leve de 2006 a 2013, seguido por uma leve retração nos anos seguintes, especialmente no que diz respeito ao perfil ocupacional dos profissionais técnicos e operacionais na economia do hidrogênio de baixo carbono.

Gráfico 1- Trajetória do pessoal ocupado Técnico-científico (PoTec) associado a economia do hidrogênio de baixo carbono para indústria (extrativa e de transformação) e Eletricidade e Gás no Brasil, 2006-2021



Fonte: Elaboração própria com base nos dados brutos da Rais (2023).

Em síntese, esses resultados mostram que, em geral a trajetória das ocupações técnicos e científicos associadas à economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil foram influenciadas por períodos implementação de políticas públicas favoráveis, ao desenvolvimento institucional na área de ciência, tecnologia e inovação, além de programas de estímulo econômico, especialmente em período de crescimento. Já a redução posterior pode ser explicada por fatores como crises econômicas, instabilidade política e incertezas regulatórias, que impactaram a demanda por profissionais qualificados. Essas flutuações indicam desafios na mobilidade e realocação desses profissionais, especialmente em regiões menos desenvolvidas, como o Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil.

4.2 Distribuição espacial das ocupações PoTec associadas a economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil

O Brasil é marcado historicamente pela heterogeneidade estrutural (Saboia, 2018), o que se reflete na distribuição desigual das ocupações associadas à economia do hidrogênio de baixo carbono. Regiões menos desenvolvidas não só possuem uma base técnico-científica menos robusta, mas também enfrentam desafios na transmissão de conhecimento e tecnologia. Essa disparidade é crucial ao considerar políticas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) para o desenvolvimento regional, especialmente diante da crescente importância dessas políticas em âmbito nacional. A capacidade de conciliar políticas regionalizadas de CT&I com critérios de excelência na alocação de recursos é fundamental para promover uma distribuição mais equitativa do desenvolvimento tecnológico e econômico entre as regiões brasileiras.

Do ponto de vista alocativa do perfil ocupacional PoTec, o Sudeste brasileiro apresenta historicamente a maior participação em ocupações PoTec vinculadas à economia do hidrogênio de baixo carbono. Em sequência, tem-se a região Sul (19,6%), Norte (10,2%), Nordeste (9,7%) e Centro-Oeste (3,4%), por ordem decrescente de absorção do perfil ocupacional.

São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Manaus são os Estados que apresentam, em termos relativos, as maiores participações em ocupações POTECH. Essa composição é respaldada por fatores

locacionais e regionais que exercem influência positiva nesses indicadores, sobretudo nos estados do Sudeste brasileiro. A consolidação desses estados como núcleo duro do desenvolvimento industrial e tecnológico ao longo dos séculos XX e XXI também contribui para essa liderança.

A referida tendência também decorre da distribuição desigual e heterogênea das atividades econômicas, tecnológicas e infraestruturas industriais no país, o que proporciona maior capacidade às regiões mais desenvolvidas e urbanizadas, como os estados sulistas, em atrair e absorver profissionais com perfil mais qualificado (Mota, 2022). Além disso, as vantagens da proximidade geográfica e da aglomeração têm um papel crucial na formação de ocupações com níveis elevados de conhecimento técnico, científico e operacional. A ideia-chave aqui é que a distribuição regional de oportunidades e capacidades não são homogêneas e, que as condições de apropriabilidade, incentivos econômicos à atividade tecnológica e natureza das atividades inventiva-inovativa também diferem entre as distintas estruturas regionais.

No caso específico do Estado de Manaus, uma das principais causas do desempenho do perfil ocupacional PoTec, alocando ocupações que podem ser prontamente adaptáveis para a economia do hidrogênio, pode ser consequência de uma antiga preocupação com o desenvolvimento regional no Norte e do esforço em levar a atividade industrial à região, especialmente por meio do antigo projeto governamental de isenção e incentivos fiscais na Zona Franca de Manaus (ZFM) (Diniz; Santos, 1995). Esse esforço se concretizou no Polo Industrial de Manaus (PIM), com grande incidência da indústria difusora e de bens duráveis ao longo do período de 2000 a 2011, conforme apontam Saboia, Kubrusly e Barros (2014).

Antes, porém, prevalece a necessidade de mencionar a relativa expansão das ocupações PoTec na região Nordeste durante o período investigado. Em termos percentuais, a região ampliou sua participação de 8,2 pontos percentuais em 2006 para 11 pontos em 2021, conforme apresentado na Tabela 1. Esse resultado pode estar diretamente relacionado aos investimentos em energias renováveis nas últimas décadas, como a implantação de parques eólicos e solares, que impulsionaram a demanda por profissionais com perfil técnico e operacional na região (Silva, 2015).

Além disso, tanto os investimentos públicos quanto os privados, voltados para lidar com as mudanças climáticas, contribuíram para o aumento dos investimentos na cadeia de valor das energias renováveis. Isso consolidou a região Nordeste como líder na geração e utilização de energias limpas e sustentáveis no Brasil (Monteiro Neto; Colombo; Rocha Neto, 2023). Como reflexo dessa tendência, houve uma significativa alocação de recursos para o Nordeste visando financiar a construção de nova capacidade produtiva em projetos de energias renováveis, entre 2010 e 2014. Isso se revelou como um importante vetor para a interiorização das aglomerações produtivas, para além da faixa litorânea do Nordeste (Silva, Marques, 2021).

Neste contexto, essa tendência ressalta a importância de políticas públicas direcionadas ao fomento das energias renováveis em todo o país, visando não apenas a diversificação da matriz energética, mas também a criação de oportunidades de emprego qualificado e o desenvolvimento regional menos desequilibrado. O estímulo a investimentos e pesquisas em tecnologias limpas deve ser considerado como um dos pilares para o crescimento sustentável da economia brasileira, promovendo o aproveitamento eficiente dos recursos naturais disponíveis em cada região, a construção de uma sociedade mais sustentável e inovadora, além de possibilitar alinhar o país às tendências globais de transição energética.

Por fim, ao aprofundar a análise das ocupações voltadas para Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) nas microrregiões brasileiras, é possível observar uma distribuição geográfica altamente concentrada (Figura 1). As regiões do Rio de Janeiro, São Paulo, Campinas, Macaé, Belo Horizonte e Curitiba se destacam como polos de conhecimento e inovação, abrigando importantes instituições de pesquisa, universidades de excelência e empresas líderes no setor energético, petrolífero e de gás, nas quais justificam a concentração de ocupações vinculadas às atividades P&D.

Tabela 1- Brasil, Regiões e Unidades Federativas –Total da População Ocupada POTEC para indústria (extrativa e de transformação) e Eletricidade de Gás e participação relativa (%), em períodos selecionados

Região/UF	em termos absolutos (unidades)				em termos relativos (em%)			
	2006	2011	2016	2021	2006	2011	2016	2021
Sudeste	124.104	168.295	140.789	144.268	59,6	58,8	55,9	53,1
Minas Gerais	25.864	35.549	27.615	30.595	12,4	12,4	11,0	11,3
Espírito Santo	2.860	4.162	4.438	5.499	1,4	1,5	1,8	2,0
Rio de Janeiro	16.097	23.553	22.713	24.210	7,7	8,2	9,0	8,9
São Paulo	79.283	105.031	86.023	83.964	38,1	36,7	34,1	30,9
Sul	35.712	54.081	51.728	56.041	17,2	18,9	20,5	20,6
Paraná	14.059	18.123	16.322	16.335	6,8	6,3	6,5	6,0
Santa Catarina	10.244	19.732	18.505	22.257	4,9	6,9	7,3	8,2
Rio Grande do Sul	11.409	16.226	16.901	17.449	5,5	5,7	6,7	6,4
Norte	25.714	30.239	23.176	29.481	12,4	10,6	9,2	10,8
Rondônia	530	485	722	1.312	0,3	0,2	0,3	0,5
Acre	154	121	145	538	0,1	0,0	0,1	0,2
Amazonas	21.788	25.694	16.654	21.517	10,5	9,0	6,6	7,9
Roraima	156	164	237	148	0,1	0,1	0,1	0,1
Pará	2.613	2.850	3.988	4.429	1,3	1,0	1,6	1,6
Amapá	172	442	447	357	0,1	0,2	0,2	0,1
Tocantins	301	483	983	1.180	0,1	0,2	0,4	0,4
Nordeste	17.024	26.207	26.306	29.767	8,2	9,2	10,4	11,0
Maranhão	659	893	1.424	1.880	0,3	0,3	0,6	0,7
Piauí	356	503	603	713	0,2	0,2	0,2	0,3
Ceará	2.613	2.779	3.269	4.062	1,3	1,0	1,3	1,5
Rio Grande do Norte	1.042	2.267	1.965	2.354	0,5	0,8	0,8	0,9
Paraíba	663	1.960	1.906	2.048	0,3	0,7	0,8	0,8
Pernambuco	3.559	4.810	5.754	6.863	1,7	1,7	2,3	2,5
Alagoas	1.014	1.485	1.517	1.084	0,5	0,5	0,6	0,4
Sergipe	1.729	2.148	3.050	1.469	0,8	0,8	1,2	0,5
Bahia	5.389	9.362	6.818	9.294	2,6	3,3	2,7	3,4
Centro-Oeste	5.526	7.552	10.068	12.200	2,7	2,6	4,0	4,5
Mato Grosso do Sul	836	1.353	2.121	2.715	0,4	0,5	0,8	1,0
Mato Grosso	1.409	1.890	2.540	3.403	0,7	0,7	1,0	1,3
Goiás	2.645	3.563	4.285	5.062	1,3	1,2	1,7	1,9
Distrito Federal	636	746	1.122	1.020	0,3	0,3	0,4	0,4
Brasil	208.080	286.374	252.067	271.757	100	100	100	100

Fonte: Elaboração própria com base nos dados brutos da Rais (2023).

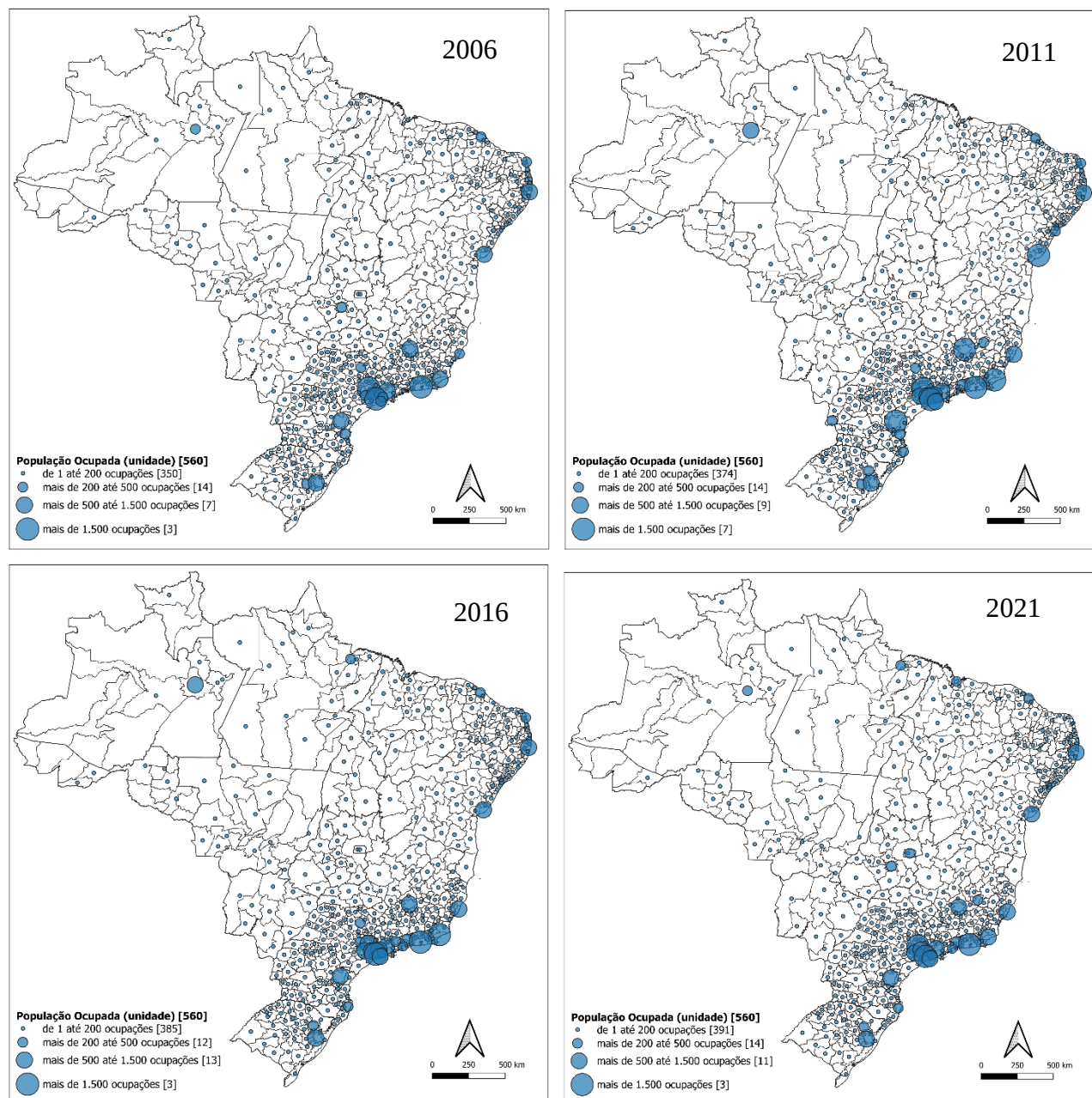
Adicionalmente, essa concentração tende a estar intimamente relacionada à atratividade dessas regiões para investimentos em tecnologia e desenvolvimento, com a presença de incentivos fiscais, políticas de estímulo à inovação e investimentos governamentais em infraestrutura. Esses fatores estimulam a formação de uma mão de obra altamente qualificada, composta por pesquisadores, engenheiros e profissionais técnicos, especializados em tecnologias relacionadas à cadeia do hidrogênio.

Neste contexto, a interação entre instituições de pesquisa, universidades e indústrias estabelecidas nesses centros tende a fomentar um ambiente propício à cooperação e ao desenvolvimento de novas tecnologias, criando um ciclo virtuoso que favorece a concentração de profissionais qualificados nessas regiões. Isto porque essas regiões possuem tendência a concentrar organizações

públicas e empresas privadas que se beneficiam da co-localização, aglomeração e circulação localizada de conhecimento (Mieszkowski; Barbero, 2020). A aglomeração desses atores tende a estar associada aos sistemas institucionais que apoiam a difusão e troca de conhecimento, colaboração e interações fundamentais para os processos inventivos-inovativos (Mota, 2023).

Assim, a concentração de ocupações voltadas para P&D nessas microrregiões tende a estar associado a um conjunto de fatores que incluem incentivos governamentais, investimentos em infraestrutura, capacitação de recursos humanos e cooperação entre setores público e privado, culminando em um ambiente favorável ao desenvolvimento tecnológico e à inovação no campo da economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil.

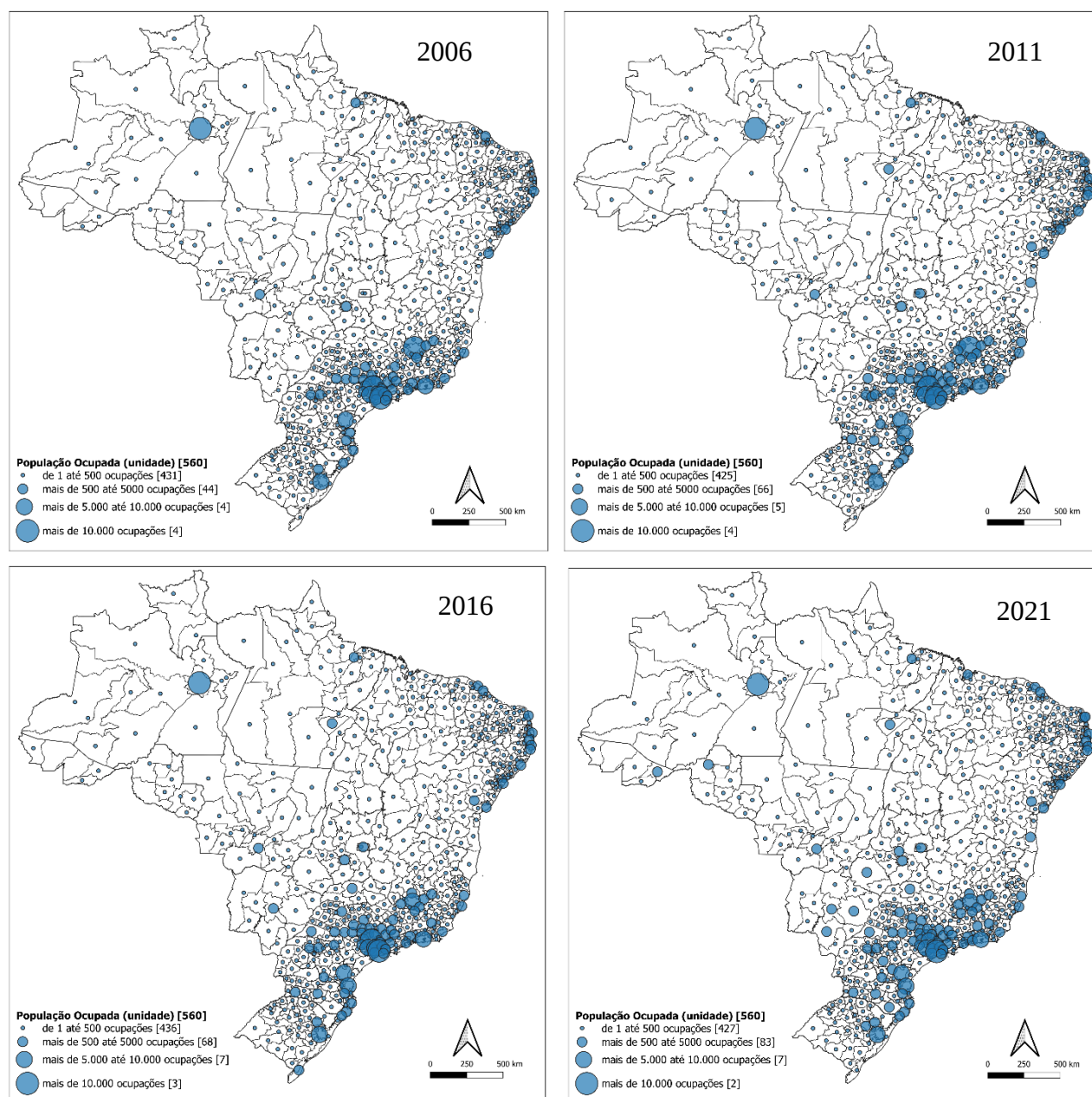
Figura 1- PoTec: P&D no Brasil, em períodos selecionados (2006; 2011;2016;2021)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados brutos da Rais (2023).

No contexto das ocupações técnicas e operacionais relacionadas à economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil entre 2006 e 2021, observa-se uma concentração significativa dessas ocupações nos centros urbanos do país. Essa tendência regional é semelhante à observada nas ocupações ligadas à pesquisa e desenvolvimento (P&D).

Figura 2- PoTec: Técnicos e Operacionais no Brasil, em períodos selecionados (2006; 2011;2016;2021)



Fonte: Elaboração própria com base nos dados brutos da Rais (2023).

A análise das ocupações técnicas e operacionais relacionadas à economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil entre 2006 e 2021 mostra uma distribuição regional altamente concentrada. As microrregiões de São Paulo e Manaus se destacam nesse cenário, abrigando importantes polos industriais do país, o que atrai profissionais com perfil técnico qualificado devido à presença de centros de pesquisa, universidades e indústrias relevantes.

Por outro lado, há uma preocupação com a redução de ocupações em microrregiões tradicionalmente industriais, como Campinas, Belo Horizonte e outras no Sul e Sudeste. Esse declínio pode estar relacionado à desindustrialização, que afeta negativamente a atividade industrial nessas regiões. Em contrapartida, há um aumento nas ocupações técnicas e operacionais em microrregiões que investiram em energias renováveis, como eólica e solar, especialmente nas regiões Norte e Nordeste, impulsionado por políticas de desenvolvimento regional.

Em suma, os resultados destacam a importância de políticas públicas e investimentos estratégicos para o desenvolvimento da economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil. É essencial promover a descentralização dessas ocupações, fortalecendo outras regiões e impulsionando o setor de energias limpas e sustentáveis, além de garantir o desenvolvimento de mão de obra qualificada e o acesso a

recursos financeiros e tecnológicos para acelerar a transição energética para uma matriz mais limpa e sustentável.

5. Considerações finais

A análise das ocupações técnicas e científicas relacionadas à economia do hidrogênio de baixo carbono no Brasil revela um padrão de crescimento seguido por retração ao longo do período de 2006 a 2021. Esse crescimento inicial pode ser atribuído a políticas públicas favoráveis implementadas na primeira década dos anos 2000, que impulsionaram a ciência, tecnologia e inovação, além de programas de estímulo econômico. No entanto, a retração posterior das ocupações PoTec parece ser resultado de fatores como crises econômicas, instabilidade política e incertezas regulatórias, que afetaram negativamente a demanda por profissionais qualificados. Esse padrão indica a sensibilidade das ocupações técnicas e científicas a variáveis econômicas e políticas, ressaltando a importância de um ambiente estável e favorável para o desenvolvimento dessas áreas.

A distribuição espacial desigual das ocupações PoTec no Brasil, com o Sudeste concentrando a maior parte das ocupações, evidencia desafios relacionados à heterogeneidade estrutural do país. Regiões menos desenvolvidas não apenas possuem uma base técnico-científica menos robusta, mas também enfrentam dificuldades na transmissão de conhecimento e tecnologia. Nesse sentido, a capacidade de conciliar políticas regionalizadas de ciência, tecnologia e inovação com critérios de excelência na alocação de recursos é fundamental para promover uma distribuição mais equitativa do desenvolvimento tecnológico e econômico entre as regiões brasileiras.

Essas conclusões destacam a necessidade de políticas públicas mais abrangentes e de investimentos contínuos em ciência, tecnologia e inovação para impulsionar o desenvolvimento sustentável e equitativo do país. A configuração espacial das ocupações estudadas auxilia no entendimento do funcionamento do segmento analisado no Brasil, evidenciando áreas que demandam maior atenção e investimento. Além disso, os achados contribuem para refletir sobre ações futuras, como a necessidade de programas específicos para capacitação e desenvolvimento de profissionais em regiões menos desenvolvidas, visando a equidade e o desenvolvimento sustentável em todo o país.

Referências

BEZDEK, Roger H. The hydrogen economy and jobs of the future. **ECS Transactions**, v. 96, n. 1, p. 107, 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Programa Nacional de Hidrogênio - PNH2**. Brasília. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/programa-nacional-do-hidrogenio-1>>. Acesso em: 13 jul. 2023.

BMW. **The National Hydrogen Strategy**. Disponível em: https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.pdf?__blob=publicationFile&v=6. Acesso em: 08 nov. 2023.

DINIZ, C. C.; SANTOS, F. B. **Manaus: uma satellite platform na região Amazônica**. Belo Horizonte. Disponível em: <[http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD 85.pdf](http://www.cedeplar.ufmg.br/pesquisas/td/TD%2085.pdf)>. Acesso em: 26 jul. 2023.

Empresa de Pesquisas Energética – EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2031**. Ministério de Minas e Energia, Brasília: MME/EPE, 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2023.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2021). **Plano Nacional de Energia 2050**. Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf>.

abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf. Acesso em: 08 nov. 2023.

GIZ - Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro: Panorama Atual e Potenciais para o Hidrogênio Verde. Brasília:GIZ, Out, 2021.

HOPPE, Lothar *et al.*. **Mercado de hidrogênio verde e power to x: Demanda por capacitações profissionais**, Brasília, SENAI NACIONAL: 2023. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/18/f8/18f8e006-67a0-45ac-b775-d1cd6fd7ae6f/03-03-2023_-_mercado_de_hidrogenio_verde_e_power_to_x_-_demanda_por_capacitacoes_profissionais.pdf. Acesso em 22 dez. 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Global Hydrogen Review 2022**. OECD Publishing, 2022. Disponível em: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c5bc75b1-9e4d-460d-9056-6e8e626a11c4/GlobalHydrogenReview2022.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2023.

IRENA. **TRANSIÇÕES ENERGÉTICAS MUNDIAIS PANORAMA 2022 VIA DO 1,5°C**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_WETO_Summary_2022_PT.pdf?rev=b1952b7278034d0384e3f543e31f75bb&hash=2496326B281F4CD3E0BAC357C8FA49AF. Acesso em: 08 out. 2023.

Meagher, D., and N. Dyrenfurth. 2020. Power State: Building the Victorian Hydrogen Industry Policy Report no. 6. Disponível em: <https://static1.squarespace.com/static/587e1296579fb39e3199b6e9/t/5fa21168ca5f3f6309e415de/1604456864601/power+state>. Acesso em 18 mar. 2024.

MIESZKOWSKI, K.; BARBERO, J. Territorial patterns of R&D+I grants supporting Smart Specialisation projects funded from the ESIF in Poland. **Regional Studies**, v. 55, n. 3, p. 390–401, 2020.

MORCEIRO, Paulo César. **A indústria brasileira no limiar do século XXI: uma análise da sua evolução estrutural, comercial e tecnológica**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MOTA, Mabel Diz Marques. **DINÂMICA ESPACIAL DA ATIVIDADE TECNOLÓGICA NO BRASIL**. 2022. 209 f. Tese (Doutorado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

SANDRI, Orana; HAYES, Jan; HOLDSWORTH, Sarah. Upskilling trades for a low carbon future: a case study of gasfitting and hydrogen. **Journal of Vocational Education & Training**, p. 1-28, 2024.

SABOIA, J.; KUBRUSLY, L. S.; BARROS, A. C. CARACTERIZAÇÃO E MODIFICAÇÕES NO PADRÃO REGIONAL DE AGLOMERAÇÃO INDUSTRIAL NO BRASIL NO PERÍODO 2003-2011. **Pesquisa e planejamento econômico**, v. 44, n. 3, p. 635–661, 2014.

SABOIA, João et al. Heterogeneidade Estrutural e Mercado de Trabalho no Brasil–2004/2014. **IE-UFRJ Texto para Discussão**, v. 5, 2018.

SANTANA, José Ricardo de et al. Financiamento público à inovação no Brasil: contribuição para uma distribuição regional mais equilibrada?. **Planejamento e políticas públicas**, n. 52, 2019.

SILVA, R. M. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 20. Jul. 2023.

SILVA, Raphael de Oliveira; MARQUES, Mabel Diz. Distribuição territorial dos desembolsos do BNDES para a Indústria e a Infraestrutura entre 2000 e 2018. In: MONTEIRO NETO, Aristides Organizador; SILVA, Raphael de Oliveira; SEVERIAN, Danilo. **Brasil, Brasis: reconfigurações territoriais da indústria no século XXI**. Brasília: Ipea. 2021.

SUZIGAN, W. et al. Inovação e conhecimento: indicadores regionalizados e aplicação a São Paulo. In: **Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia [Proceedings of the 32th Brazilian Economics Meeting]**. ANPEC-Associação Nacional dos Centros de Pós graduação em Economia [Brazilian Association of Graduate Programs in Economics], 2006.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Transitioning Industrial Clusters towards Net Zero: National Policy Enablement for IndustrialDecarbonization**. White paper. October, 2022.