

MELQUESEDEQUE SAGE BRILHANTE

**DIVERSIFICAÇÃO OCUPACIONAL E A EMERGÊNCIA DA INDÚSTRIA 4.0 NAS
REGIÕES BRASILEIRAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Igor Santos Tupy

Coorientador: Rubicleis Gomes da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B857d
2024
Brilhante, Melquesedeque Sage, 1998-
Diversificação ocupacional e a emergência da indústria 4.0
nas regiões brasileiras / Melquesedeque Sage Brilhante. –
Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (60 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Igor Santos Tupy.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Economia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 46-53.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.421>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Indústria - Efeito das inovações tecnológicas - Brasil.
2. Indústria de transformação - Brasil. 3. Especialização.
4. Trabalho - Análise. I. Tupy, Igor Santos, 1990-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia.
Programa de Pós-Graduação em Economia. III. Título.

CDD 22. ed. 338.064

MELQUESEDEQUE SAGE BRILHANTE

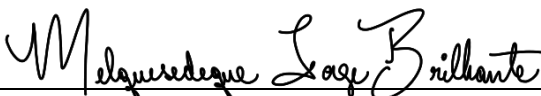
DIVERSIFICAÇÃO OCUPACIONAL E A EMERGÊNCIA DA INDÚSTRIA 4.0 NAS REGIÕES BRASILEIRAS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 04 de abril de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
gov.br MELQUESEDEQUE SAGE BRILHANTE
Data: 05/08/2024 11:09:26-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Melquesedeque Sage Brilhante
Autor

Documento assinado digitalmente
gov.br IGOR SANTOS TUPY
Data: 05/08/2024 15:19:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Igor Santos Tupy
Orientador

A todos que amei e que tentei amar.

AGRADECIMENTOS

À família.

Aos lendários, icônicos, únicos, puros e açucarados amigos que fizeram história dentro e fora da UFV: Júlia, Débora, Miriã, Kaio, Karol, Márcio, William, Edi, Nico, Wendel, Ulisses, Pedro, Nati e Carol (nomes ocultos ou desmemoriados não são menos importantes).

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Economia. Em especial, aos exemplares profissionais que, além de economia, me ensinaram a viver: Luciano Carvalho, Chico Cassuce, Rafael Campos, Giovana Rossi, Jader Cirino, Evandro Teixeira, Ana Cecília de Almeida, Michelle Martins, Jeruza Haber, Adriano Provezano, Gabriel Ervilha, Daiane Coelho, Vânia Eugênia, Felipe Stelli, Mauro Demartini e Senhor Romeu.

Uma atenção extraordinária àqueles que requerem: Igor Tupy e Elaine Fernandes. Excepcionais por natureza, suas personalidades são arquétipos que me inspiram diariamente e, por obviedade, conquistaram lugar insólito no meu coração. Por tudo, sou eternamente grato.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo a partir do Programa de Demanda Social.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo financiamento do projeto APQ-02012-22/FAPEMIG-DU Edital 001/2022 que, para além da concessão da bolsa de estudo, ensejou minha ascensão enquanto pesquisador.

- *Aí comecei a escrever um conto que não acabava nunca mais. Terminei rasgando e jogando fora.*
- *Isso acontece ainda agora, de você produzir alguma coisa e rasgar?*
- *Eu deixo de lado ou rasgo... Não! Eu rasgo sim.*
- *É produto de reflexão ou uma emoção?*
- *Raiva! Um pouco de raiva.*
- *Com quem?*
- *Comigo mesma.*
- *Por que, Clarice?*
- *Sei lá, eu tô meio cansada.*
- *Do quê?*
- *De mim mesma.*
- *Mas você não renasce e se renova a cada trabalho novo?*
- *Bom, agora eu morri. Vamos ver se eu renasço de novo. Por enquanto eu tô morta. Tô falando de meu túmulo.*

(Clarice Lispector)

There's something off about her. I can't explain it but she's slipping.

(Zuko)

RESUMO

BRILHANTE, Melquesedeque Sage, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, abril de 2024. **Diversificação ocupacional e a emergência da indústria 4.0 nas regiões brasileiras.** Orientador: Igor Santos Tupy. Coorientador: Rubicleis Gomes da Silva.

A presente dissertação objetivou investigar a Geografia Econômica do Conhecimento da Quarta Revolução Industrial na Indústria de Transformação Brasileira, a partir dos empregos formais considerados necessários ao funcionamento das atividades desse segmento. Para tanto, elaborou-se indicadores de Conhecimento e Proximidade entre as Ocupações para definir efeitos na Entrada de novas especializações na Indústria 4.0 e seus transbordamentos regionais. A Diversificação Regional causada pelas Ocupações foi obtida pelo ganho de Vantagem Comparativa Revelada entre os períodos 2009 a 2014 e 2014 a 2019 para as microrregiões brasileiras. A estimação foi realizada pelo Modelo de Probabilidade Linear e apresentado em quatro modelos. Os principais resultados corroboram com a literatura: A diversificação regional da mão de obra é concentrada no eixo Sudeste-Sul, com predominância do Estado de São Paulo nos principais setores dessa indústria. Os efeitos das variáveis de interesse indicam a multiplicidade da disseminação da Indústria 4.0: se por um lado há importância da concentração de mão de obra especializada na Quarta Revolução Industrial e, quanto mais Complexo, mais difícil desse conhecimento ser incorporado a base regional, por outro lado, fatores de desenvolvimento não foram determinísticos nas estimações propostas. Ainda assim, considera-se primordial a maturidade tecnológica e acumulação de capital, físico e humano, para consolidação das vantagens e capacidades locais.

Palavras-chave: Quarta Revolução Industrial. Proximidade. Conhecimento. Especialização. Capacidades.

ABSTRACT

BRILHANTE, Melquesedeque Sage Brilhante, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, April, 2024. **Skill diversification into industry 4.0 in brazilian regions**. Adviser: Igor Santos Tupy. Co-adviser: Rubicleis Gomes da Silva.

The present dissertation aimed to investigate the Economic Geography of Knowledge in the Fourth Industrial Revolution within the Brazilian Manufacturing Industry, focusing on formal jobs deemed necessary for the functioning of this sector. To this end, indicators of Knowledge and Proximity between Occupations were developed to assess the effects on the emergence of new specializations in Industry 4.0 and their regional spill-overs. Regional Diversification caused by Occupations was measured through the gain in Revealed Comparative Advantage between the periods 2009 to 2014 and 2014 to 2019 across Brazilian micro-regions. Estimation was conducted using a Linear Probability Model and presented in four models. The main findings corroborate existing literature: Regional labor diversification is concentrated in the Southeast-South axis, with São Paulo State playing a predominant role in key sectors of this industry. The effects of the variables of interest indicate the widespread dissemination of Industry 4.0: while there is an emphasis on the concentration of specialized labor in the Fourth Industrial Revolution, and the more complex it is, the more difficult it is to incorporate this knowledge into regional bases, developmental factors did not show deterministic outcomes in the proposed estimations. Nonetheless, technological maturity and the accumulation of physical and human capital are considered essential for consolidating local advantages and capabilities.

Keywords: Fourth Industrial Revolution. Relatedness. Knowledge. Specialization. Capacities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Dimensões Observáveis dos Conhecimentos 4.0.....	13
Figura 2 – Microrregiões brasileiras com mais Entradas de Ocupações 4.0.....	36
Figura 3 – Mapa de Entrada de Ocupações 4.0 nas microrregiões brasileiras no período 2009-2014	37
Figura 4 – Mapa de Entradas de Ocupações 4.0 nas microrregiões brasileiras no período 2014-2019	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Níveis de Ocupação	26
Tabela 2. Estatísticas Descritivas da Entrada de Ocupações 4.0.....	35
Tabela 3. Indústrias Regionais com mais Entradas de Ocupações 4.0.....	39
Tabela 4. Indústrias com mais Entradas de Ocupações 4.0.....	40
Tabela 5. Modelos de Entrada do Conhecimento 4.0 nas Indústrias Regionais.....	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

I4.0	Indústria 4.0.
IoT	Internet of Things.
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.
CPS	Cyber Physical System.
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas.
ICT	Information and Communication Technologies.
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais.
SOC	Standard Occupational Classification.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. CONHECIMENTOS E HABILIDADES NA INDÚSTRIA 4.0	16
3. METODOLOGIA.....	25
3.1 Referencial analítico	25
3.2. Variáveis e fonte de dados	31
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
5. CONCLUSÕES	44
REFERÊNCIAS	46
ANEXO	54

1. INTRODUÇÃO

A produção de conhecimento, inovação e progresso tecnológico influem mudanças que contribuem para a evolução das economias. A Quarta Revolução Industrial é a última grande transformação no processo produtivo e se contrapõe à anterior ao integrar o ecossistema de maneira completa e autossuficiente a partir da digitalização de ponta a ponta, superando a automação de máquinas e processos característicos à Terceira Revolução (XU; XU; LI, 2018).

A Quarta Revolução Industrial, quando associada à Indústria 4.0 (I4.0), pode ser definida como aproximação das esferas física, digital e biológica, a partir da fusão de sistemas cibernéticos e físicos (CPS), como Internet das Coisas (IoT), *big data* e inteligência artificial (BAILEY; PROPRIS, 2019). A integração de CPS mudou todo ecossistema produtivo, sobretudo a indústria de transformação, estendendo o processo intra e inter organizacional, impulsionado pela evolução da tecnologia da informação e comunicação (ICT) nos últimos anos (XU; XU; LI, 2018). Não há consenso quanto a definição da I4.0, contudo parte-se de tecnologias advindas da I4.0 definidas a partir de tecnologias verdes e renováveis, tecnologias digitais¹ e novos materiais² (PROPRIS; BAILEY, 2021).

Tecnologias atreladas a I4.0 disseminaram-se em áreas como cadeias globais de valor (STRANGE; ZUCHELLA, 2017), cadeias de fornecimento (GHADGE *et al.*, 2020), setor manufatureiro (CASTELO-BRANCO; CRUZ-JESUS; OLIVEIRA, 2019; DZYURDZYA *et al.*, 2022), setor automobilístico (CHENG *et al.*, 2016; CIRILLO *et al.*, 2021), engenharia elétrica, engenharia de máquinas e fabricações, engenharia médica e ICT (ARNOLD; KIEL; VOIGT, 2016), tecnologias verdes (CICERONE *et al.*, 2023).

A estrutura da I4.0 pode ser observada a partir de quatro abordagens, a saber: a abordagem orientada pela dimensão social descreve a estrutura I4.0 a partir de novas tecnologias contribuindo para criação de novos produtos, o que causa diminuição de mão de obra produtiva, podendo provocar desemprego em massa. A abordagem baseada nas competências faz referência a mudanças estruturais (substituição do trabalho) e qualitativas (conhecimento e capacidade necessários). Por sua vez, a abordagem da produção enfatiza a automatização em larga escala no funcionamento das firmas. A abordagem comportamental

¹ Tecnologia da informação e comunicação e tecnologias móveis, manufatura aditiva ou impressão em terceira dimensão (3D), inteligência artificial, computação em nuvem, análise de grandes dados (*Big Data*), Internet das Coisas, robótica avançada, sensoriamento, tecnologia espacial e drones.

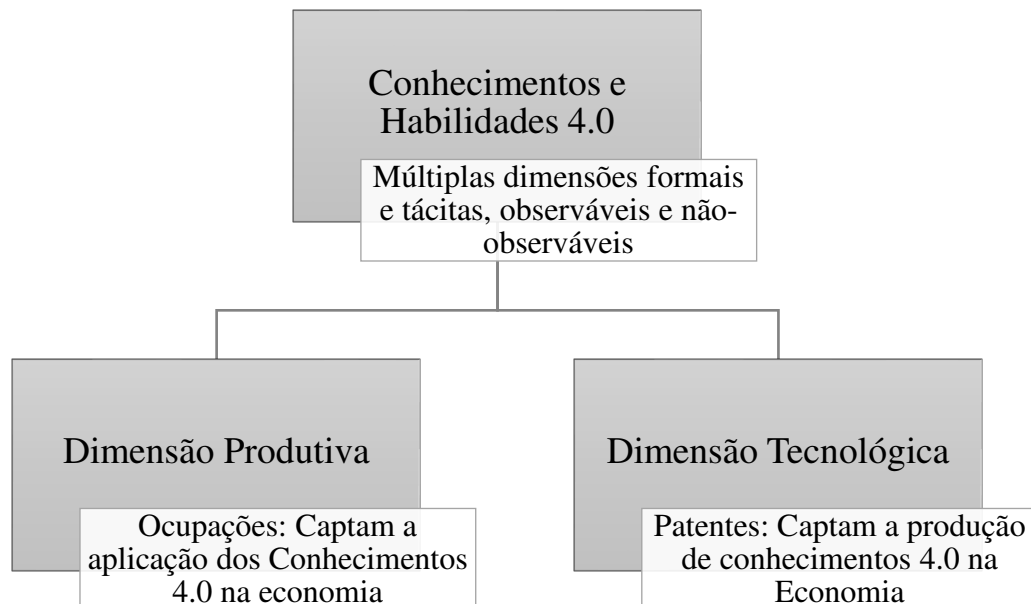
² Biotecnologia, nanotecnologia e neurotecnologia.

ênfatiza a eliminação do ser humano no processo de produção dada a interação autossuficiente entre objetos (SUKHODOLOV, 2019).

Em observância as competências necessárias para implementa o desta Indústria e sua consolida o, a presente pesquisa busca analisar a Geografia Econômica das habilidades do emprego formal no Brasil, essencialmente com advento da transforma o digital, a partir dos seus requisitos em termos de conhecimentos cognitivos. Para tanto destaca-se que as mudanç as tecnológicas modificaram o ambiente produtivo, a rela o inter e intrafirmas e os insumos necessários para sua produ o (BAILEY; PROPRIS, 2019).

Em particular   I4.0, a pluralidade dos conhecimentos apresenta, muitas vezes, natureza tácita e não observável, como ilustrado pela Figura 1. A presente pesquisa pretende analisar algumas de suas dimensões formais e observáveis a partir das ocupa es associadas   transforma o digital, pois estas permitem verificar uma dimensão da aplica o econômica dos conhecimentos existentes na atividade econômica formal (COR  *et al.*, 2021). Comumente utilizado na literatura de I4.0, patenteamento evidencia a produ o de Conhecimentos 4.0 novos, como resultado dos processos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inova o (BALLAND; BOSCHMA, 2021) porém não será objeto desse estudo.

Figura 1 – Dimensões Observáveis dos Conhecimentos 4.0



Fonte: Elabora o própria.

A transforma o digital apresenta, por defini o, uma série de requisitos em termos de conhecimentos que estão associados às tecnologias que a caracterizam. Essa base de

conhecimentos está associada a capacidade de geração de novas tecnologias digitais, bem como da utilização das novas tecnologias emergentes por uma mão-de-obra industrial qualificada.

Nesse aspecto, o presente trabalho propõe analisar a distribuição espacial das condições, em termos de habilidades, para a consolidação dessa indústria no Brasil. Para isso, questiona-se quais as microrregiões apresentam as bases de Conhecimento Ocupacional mais complexas.

Considera-se aqui a Complexidade do Conhecimento como fator determinístico ao processo evolucionário causado pela Quarta Revolução Industrial, em diferencial à investigação da Complexidade do Conhecimento no Brasil (FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022) ao não averiguar peculiaridades da I4.0 e seus efeitos de inflexão econômica. Ainda que a nível global trabalhos dissertem acerca de Complexidade do Conhecimento da I4.0, limitações são impostas à análise. Por exemplo, análise de dados ao utilizar registro de patenteamento ou ao lidar com áreas de complexidade baixa ou nula.

Por exemplo, é notório que a não existência de patentes registradas não implica inexistente conhecimento aplicável à I4.0. Isto posto, parte-se da hipótese que regiões com elevados padrões de requisitos cognitivos e tecnológicos relativos à Indústria 4.0 tendem a ser mais Complexas em Conhecimento e concentradas.

Para além de preencher uma lacuna no entendimento das pré-condições em termos de conhecimentos complexos para a consolidação da I4.0 no Brasil, este estudo apresenta potencial de subsidiar a implementação de políticas industriais focalizadas. A discussão sobre a reindustrialização do país tem se aprofundado nos últimos anos, com um crescente entendimento de que esta deve se pautar em setores intensivos em conhecimento e inovação. Então torna-se possível traçar estratégias mais eficazes e condizentes com as bases produtivas locais por meio do entendimento da Geografia Econômica dos Conhecimentos ali existentes.

Portanto, o presente trabalho propõe analisar a Geografia Econômica e a aplicação de conhecimento relativo à I4.0 nas microrregiões do Brasil para os anos 2009, 2014 e 2019. Além de abarcar a literatura internacional, esse período permite avaliação da evolução da disseminação de conhecimento sem prejuízo à análise empírica, partindo-se dos dados de ocupações associados às atividades dessa indústria para avaliar a entrada de Ocupações nas microrregiões brasileiras. Especificamente, busca-se construir indicadores do Conhecimento das microrregiões brasileiras para o conjunto de ocupações e identificar os diferentes potenciais tecnológicos de desenvolvimento da Indústria 4.0 nas microrregiões a partir da Entrada de Ocupações 4.0.

No que concerne à obtenção dos resultados, seleciona-se 1.048 ocupações com conhecimentos característicos à Quarta Revolução Industrial por meio do Quadro Brasileiro de

Qualificações, com limiar do nível médio deste conhecimento ao considerar um ínfimo de Capital Humano 4.0 sem causar prejuízo a pesquisa. Devido à natureza do Quadro Brasileiro de Qualificações ser contemporânea, seu uso é insólito e, por consequência, este é o primeiro ponto de contribuição do presente trabalho. Posteriormente, estima-se o surgimento dessas ocupações, intrínsecas à I4.0, por modelos de probabilidade com distribuição linear com múltiplos efeitos fixos para as Indústrias Regionais. Considera-se Indústria Regionais pois a aquisição de conhecimento é peculiar por regiões e setores, porém ocorre de forma integrada. Este nível de seleção é o segundo diferencial da pesquisa.

Os resultados indicam a ascensão da I4.0, sobretudo no período 2009-2014 frente ao período 2014-2019. O eixo Sul-Sudeste concentrou as Indústrias Regionais da Quarta Revolução Industrial, com ênfase ao Estado de São Paulo. As variáveis de interesse concomitam com o esperado: A densidade da proximidade do conhecimento eleva a probabilidade do surgimento de ocupações especializadas nessa temática e, de maneira complementar, o mesmo efeito é identificado para os conhecimentos inerentes à I4.0. Com relação às Complexidades, o efeito negativo está interligado a dificuldade do desenvolvimento de regiões e competências mais complexas e, de igual modo, à restrição na inserção de ocupações com requisitos estritos em capacidades versadas, plurais e abrangentes.

Para além desta introdução, este trabalho está estruturado da seguinte maneira: a segunda seção remonta a uma breve apresentação das capacidades vitais à emergência e ao desempenho da I4.0. A terceira se refere à metodologia empregada para consolidação dos objetivos propostos. Na quarta seção são expostos os resultados da pesquisa e o debate teórico que o embasa. Por fim, a quinta seção contém as conclusões do trabalho.

2. CONHECIMENTOS E HABILIDADES NA INDÚSTRIA 4.0

A implementação da I4.0 está intrinsecamente vinculada a existência de uma base de conhecimentos complexa, que se integre à dimensão produtiva do setor manufatureiro. Essas bases de conhecimento podem ser de natureza sintética, advindo da aplicação e combinação de conhecimento existente e requerendo profissionais técnicos, ou natureza analítica, aplicando processos racionais e leis científicas e exigindo perfil intelectual (CORÒ *et al.*, 2021). O principal foco está no processo de digitalização e integração completa do ecossistema industrial digital, com soluções integradas, que podem ser descritos essencialmente em: i. IoT – uma infraestrutura com autoconfiguração e interoperável com conexão entre as coisas, sejam elas físicas ou virtuais, que possuem identidades e são interconectadas.; ii. Computação em nuvem – compartilhamento virtual de diversas informações, como banco de dados em grande escala, possibilitando alto desempenho à baixos custos; iii. CPS – integração de sistemas físicos e cibernéticos operando em escalas temporais e espaciais diferentes e interagindo entre si, variando de acordo com o contexto inserido. Os CPS são a base desta indústria, pois possibilitam a interconexão do espaço virtual com o mundo real, combinando ciência de dados, modelos analíticos e inteligência artificial que, em tempo real, analisam os sistemas e processos das máquinas, otimizando o processo de fabricação, distribuição, serviço e manutenção (XU; XU; LI, 2018).

A I4.0 solicita habilidades laborais ligadas a tarefas de caráter altamente técnico, bem como habilidades que impactam os desempenhos pessoais, como gestão, cooperação, gerenciamento pessoal e demais fatores de convívio humano. Ao mesmo tempo exige evolução das habilidades que não possam ser facilmente substituídas por tecnologias I4.0, como inteligência artificial (BONGOMIN *et al.*, 2020). Essa relação dual propicia a oportunidade para investigação das relações laborais, além associar a difusão de uma série de conhecimentos em dimensões intrafirma, intrassetorial e espacial.

Para o Brasil a literatura é incipiente. O trabalho norteador investigou a diversificação industrial e tecnológica a partir dos índices de proximidade (*relatedness*) e complexidade. Para tanto, França, Boschma e Vonortas (2022) utilizaram dados de patentes e setores econômicos nos períodos 2006-2010, 2011-2015 e 2016-2019 – patentes estas consideradas capazes de gerar alto retorno econômico e alto valor estratégico – e modelo de probabilidade linear para estimação econométrica. Os resultados indicam que quanto maior o *relatedness* de uma região num determinado setor, maior a probabilidade dessa região desenvolver uma especialização neste setor num período futuro, ao passo que a complexidade de um setor afeta positivamente a probabilidade de as regiões mais complexas desenvolverem uma nova especialização e

negativamente a probabilidade de regiões menos complexas. Não obstante, quanto maior a complexidade de uma tecnologia, menor a probabilidade dessa tecnologia entrar em regiões de baixa complexidade, sendo o inverso válido para regiões de elevada complexidade (FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022).

De modo geral, países em desenvolvimento têm dificuldade para obter transferência de conhecimento (PETRALIA *et al.*, 2017), fundamental para produção de tecnologias atreladas a I4.0. Seguindo esta perspectiva, tais tecnologias requerem conhecimentos mais específicos, difíceis de obter, o que indica que sua produção depende de fundamentos menos genéricos (BALLAND; BOSCHMA, 2021) e, muitas vezes, na fronteira do saber. Nesse sentido, é crucial o entendimento da geração e difusão do conhecimento entre os agentes econômicos. Essa discussão tem sido amplamente debatida pelas Abordagens da Complexidade Econômica (HIDALGO *et al.*, 2007; HIDALGO; HAUSMANN, 2009) e pelas perspectivas evolucionárias focadas na Complexidade Tecnológica (BALLAND *et al.*, 2019; BALLAND; BOSCHMA, 2021; BALLAND; RIGBY, 2016; BOSCHMA, HEIMERIKS; BALLAND, 2014).

O debate sobre digitalização e automação ganhou forças nos últimos anos. Por exemplo, Frey e Osborne (2013, 2017) investigaram a informatização, definida por automação de trabalho por um equipamento controlado por computação, e ranquearam 702 ocupações pelos requisitos de habilidades, capacidades e conhecimentos que estas possuem. Os autores estimam que 47% do percentual dos empregos dos Estados Unidos tem elevado risco de automação, ocorrendo a partir de uma primeira leva de informatização, impulsionada na mão de obra de transporte, logística, produção, escritório e apoio administrativo. O processo de substituição nos transportes e logística são amplificados pelo custo-benefício na produção dos carros automáticos, sobretudo pelos custos decrescentes de sensores avançados, ao passo que os ganhos na produção advêm do processo natural de informatização na indústria manufatureira. Quanto ao emprego administrativo, os algoritmos de *big data* ingressaram no acesso e armazenamento de informações (FREY; OSBORNE, 2013, 2017), bem como computação em nuvem e IoT. A segunda onda apontada pelos autores depende da evolução das tecnologias para contemplar capacidades atreladas às ocupações com elevada heurística humana e desenvolvimento de ideias e artefatos, pois estas têm baixo risco de informatização. As habilidades atreladas a estas ocupações são belas artes, originalidade, negociação, persuasão, percepção social, assistência e cuidado com os outros. São exemplos engenheiros, cientistas, artistas, executivos.

Em sentido concomitante, análise para o Brasil aponta que 54,45% do total de empregos formais apresentava probabilidade de automação alta e muito alta em 2017, ao passo que previsões até 2046 consentem de igual modo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019). Os autores sugerem

duas possibilidades: ou as firmas continuam com o mesmo volume de empregados ou as empresas abarcariam a automação, levando a risco 30 milhões de ocupações até 2026, sendo este o cenário mais provável. Isso implicaria em claros problemas ao governo, pois dependeria de qualificar trabalhadores, sobretudo àqueles de menor conhecimento e, ainda assim, os autores enfatizam que as empresas investem em novas tecnologias a depender do preço relativo capital-trabalho no processo produtivo (ALBUQUERQUE *et al.*, 2019).

Como observado por Adamczyk, Ehrl e Monasterio (2023), as habilidades dos trabalhadores estão relacionadas com as variações da mão de obra na economia. Os autores relatam que, de 2013 a 2018, trabalhadores de qualificação média exibiram as maiores perdas relativas de emprego, ao passo que tais perdas estão atreladas às remunerações médias, não aos salários extremos, e estes trabalhadores tendem a usar ainda mais habilidades cognitivas não rotineiras. Essa proximidade entre transição do emprego e habilidades dos trabalhadores pôde ser visível para diferentes tipos de habilidades de trabalhadores. Por exemplo, trabalhadores intensivos em atividades cognitivas não rotineiras têm probabilidade relativamente baixa de mudança setorial e ocupacional e seus riscos à saída do mercado são relativamente baixos e, caso haja transição de emprego, estes tendem a receber salários elevados em empregos similares. Trabalhadores manuais rotineiros e não manuais rotineiros estão em conjuntura desvantajosa, sobretudo o primeiro grupo, que têm menores taxas de transição para empregos com capacidades diferentes e mais bem gratificadas, bem como tendem a ir para ocupações e setores mais distantes do emprego de origem.

Por natureza, todas as habilidades são necessárias para o desenvolvimento da I4.0 pois esta vislumbra unir as tecnologias e aplicações outrora separadas. Isto implica que ao mesmo tempo que tecnologias dessa indústria modificam a demanda por trabalho, a adaptação dessas capacidades torna-se essencial para manutenção do capital humano nas novas exigências impostas. Essa revolução no processo de aprendizagem, denominada Educação 4.0, permite que os utilizadores da tecnologia criem e inovem de acordo com o ambiente inserido (BONGOMIN *et al.*, 2020), amplificando a produtividade de aprendizagem e treinamento das organizações, fato de extrema relevância para a academia e mercado, como a indústria manufatureira e serviços (YAZGAN, 2021). As universidades são primordiais enquanto espaços para ensino, pesquisa, inovação criativa, resolução de problemas práticos e criação de valores sociais e éticos.

Naturalmente, pela especificidade da I4.0, é de extrema relevância o incentivo no aprendizado de ciências, engenharia, matemática e suas aplicações tecnológicas, pois estas permitem acúmulo do conhecimento intrínseco às origens dessa indústria (YAZGAN, 2021). Outro argumento propõe diferenciar a estrutura social entre Educação 4.0 e Operador 4.0, uma vez que a

primeira dependeria dos ensinamentos oriundos da Inteligência Artificial no processo de aprendizagem, porquanto a segunda estaria relativa ao trabalhador efetivo da firma futurística, que utiliza tecnologias avançadas e exige que o empregado tenha plena capacidade de lidar com sistemas sensoriais e físicos integrados (FLORES; XU; LU, 2019). Neste sentido, Pinzone *et al.* (2017) enfatizam a relevância de habilidades técnicas, dado que estas baseiam o entendimento dos espaços de trabalho da indústria e, por conseguinte, definem o universo da I4.0.

Ao longo da teoria econômica, justificativas são dadas para o desenvolvimento de novas tecnologias. Críticas à teoria convencional argumentam que esta falhou em capturar e analisar as peculiaridades das variações regionais, quantitativas e qualitativas, que aconteceram no espaço-tempo como os principais precedentes determinísticos da convergência e divergência entre as nações – e indústrias. Nesse aspecto, a literatura da Geografia Econômica observou a ascensão de regiões desenvolvendo novas indústrias em detrimento de áreas especializadas em indústrias retrógradas, remetendo ao processo de destruição criativa.

Contribuições importantes apontam que novas tecnologias surgem em áreas diversificadas, com externalidades Jacobs disponíveis (NEFFKE; HENNING; BOSCHMA, 2011). Isto significa que há benefícios dada a composição das atividades da região, enquanto indústrias antigas beneficiam da externalidade gerada pelas cidades de alta tecnologia. No aspecto da geografia econômica, observa-se que indústrias tendem a obter maiores externalidades positivas com proximidade do que com diversidade, especialmente no que tange ao crescimento industrial e ascensão (ou declínio) de regiões (NEFFKE; HENNING; BOSCHMA, 2011).

Neste sentido, a recombinação e transferência de conhecimento é dependente do tempo e do espaço. Inovações e tecnologias não surgem aleatoriamente na economia, estas necessitam de requisitos prévios de conhecimento que possibilitem a disseminação e produção de novas ideias (BALLAND, 2016). Contemporaneamente, reconhecendo a existência da complexidade do conhecimento, investigações sobre a dinâmica do conhecimento suscitaram a relevância da proximidade cognitiva, o *relatedness*, na entrada e saída de novas tecnologias nos processos econômicos (BOSCHMA; BALLAND; KOGLER, 2015; ESSLETZBICHLER, 2013). O *relatedness* reflete a probabilidade de um local desenvolver uma atividade econômica dada a produção de atividades relacionadas na mesma região. O fenômeno de *relatedness* tecnológico e diversificação regional não é novo, porém ascendeu no debate teórico quanto a seu uso com produção de análises baseadas em *big data* (PINHEIRO; BALLAND; BOSCHMA; HARTMANN, 2022; WHITTLE; KLOGER, 2019).

O conhecimento depende de uma dinâmica de agentes diversos numa perspectiva espaço-temporal complexa e não linear, a vista disso, novos conhecimentos advêm de algum

conhecimento precedente (BALLAND, 2016). Considerando que dois bens são relacionados pois requisitam fatores parecidos, como instituições, infraestrutura, espaço físico e tecnologia, então eles tendem a ser produzidos em conjunto, ao passo que para produtos diferentes a tendência é muito menor. Como o conhecimento é baseado em similaridades e diferenças de modo que diferentes tipos de conhecimentos podem ser usados, então quando um tipo de conhecimento é substituído para outro – ou quando demandam as mesmas capacidades e habilidades – então estes partilham relação ou proximidade no espaço de conhecimento, isto é, *relatedness* (BALLAND *et al.*, 2019; HIDALGO *et al.*, 2007).

O *relatedness* pode partir de uma abordagem hierárquica, que relaciona as indústrias caso pertençam ao mesmo código de Classificação Industrial Padrão, ou pela ocorrência simultânea de dois agentes no mesmo portfólio – uma relação entre classes tecnológicas ou ocupações, por exemplo. Outra possibilidade é a similaridade dos recursos utilizados pelas indústrias (WHITTLE; KLOGER, 2019). Contudo os agentes econômicos possuem capacidades diferentes que impactam a possibilidade produtiva da economia que estão inseridos. Considerando que essas capacidades, habilidades, capital humano e experiência podem ser resumidos a conhecimento, é notório que este é heterogêneo entre agentes e altamente dependente do espaço. Estes contrastes na base de conhecimento levam a distintos níveis de proximidade e distância cognitiva entre os agentes que impacta diretamente a transferência de conhecimento (BALLAND, 2016; BALLAND; RIGBY, 2017; HIDALGO *et al.*, 2007; HIDALGO; HAUSMANN, 2009). Diferentes indivíduos possuem diferentes habilidades que podem ser mais ou menos necessárias, exclusivas e difíceis de replicar para a produção de bens e serviços.

Levando à escala global, a conjunção de vários domínios de tais conhecimentos com elevada dificuldade para replicação leva à formação de estruturas produtivas que não podem ser copiadas indistintamente por todas as nações (HIDALGO *et al.*, 2007; HIDALGO; HAUSMANN, 2009). Assim, países diversificados tendem a exportar produtos com menor ubiquidade, isto é, produtos mais exclusivos, que não são produzidos em todos os territórios. A diversidade de um país aumenta com a quantidade de capacidades que possui, ao passo que a ubiquidade está negativamente relacionada às capacidades disponíveis. Além disso países mais diversificados produzem produtos mais complexos. A habilidade de um país inovar é limitada ao seu espaço de capacidades que, por sua vez, depende das capacidades existentes e das novas que podem ser acrescidas. À medida que a lacuna entre os países aumenta, dada a evolução da complexidade de um deles, mais capacidades precisam ser assimiladas para produção na fronteira do conhecimento (HIDALGO; HAUSMANN, 2009). Os autores citam algumas propriedades importantes da complexidade, a saber: é uma medida que obtém informações do conjunto

de capacidades do país, é fortemente correlacionada à renda *per capita* e serve como preditora do crescimento e dos produtos exportados (HIDALGO; HAUSMANN, 2009).

Os espaços podem ser caracterizados em espaço de produto, espaço de conhecimento (que pode ser decomposto, por exemplo, em espaço tecnológico e espaço científico), espaço de setores e espaço de habilidades. O espaço de produto é baseado numa rede (*network*) que captura os níveis de *relatedness* na frequência de co-ocorrência nas exportações de um país. Caso dois países possuam a mesma vantagem comparativa em dois produtos, então ambos os produtos são considerados relacionados.

Em termos específicos, o espaço de conhecimento modela o processo de especialização ou diversificação a partir da hipótese de que a diversificação é estilizada e dependente da trajetória, contrapondo a vertente econômica que coloca como processo aleatório. Comumente usa informação de co-ocorrência de patentes de classes tecnológicas de modo que tecnologias que partilham fator essencial em comum estão mais próximas no espaço de conhecimento – fator essencial que é definido pela complexidade envolvida na produção do bem. Espaço de setores industriais é o espaço do *relatedness* industrial e advém da co-ocorrência de produtos que pertencem a diferentes firmas nos portfólios do mesmo setor industrial.

O espaço de habilidades é uma extensão do espaço de setores pois, dado que a mobilidade do capital humano é a força motora do processo de diversificação, o espaço de habilidades é disposto para captar quais habilidades podem ser usadas em diferentes indústrias comparando fluxos de trabalho, possibilitando uma visão minuciosa do *relatedness* via dados ocupacionais (WHITTLE; KLOGER, 2019).

Portanto, o espaço do conhecimento considera que, caso dois produtos sejam produzidos conjuntamente, então estes partilham dos mesmos conhecimentos necessários. Considerando duas tecnologias quaisquer, A e B, estas serão relacionadas se forem produzidas em conjunto nas regiões, o que implica que requerem os mesmos requisitos estruturais, institucionais, capacidades, habilidades e afins. Ao considerar tecnologias para construção do espaço de conhecimento é possível derivar o espaço tecnológico, sendo este uma rede baseada na representação do *relatedness* entre todas as tecnologias analisadas. Como supracitado, patentes seguem como a principal ferramenta de captura de informações sobre criação e difusão de conhecimento e apresentam vantagem proeminente por ser explicitada espaço-temporalmente (BALLAND, 2016).

Além disso, estudos comprovam a espacialidade do conhecimento. Por exemplo, para as áreas metropolitanas dos Estados Unidos, identificou-se relação inversa entre citação de patentes – *proxy* de conhecimento – e distância geográfica. De modo antagônico observaram

que a probabilidade de citação de patentes mais complexas diminui à medida que o potencial inventor está na localidade da mesma patente a ser citada (BALLAND; RIGBY, 2016). Para a Europa foi observado que a produção de tecnologias I4.0 está intrinsecamente ligada a região e categoria tecnológica, sobretudo concentrado na Alemanha, França e Reino Unido (BALLAND; BOSCHMA, 2021). Tais tecnologias partilham características adjacentes que propiciam similaridade produtiva.

Fatos espaciais como especialização, aglomeração e diversificação urbana comprovam a concentração e dependência espacial das patentes, *proxy* fortemente atrelada a I4.0. As regiões Sudeste e Sul do Brasil indicam padrões espaciais em microrregiões pelo maior quantitativo de registro de patenteamento, bem como estão circunvizinhadas por microrregiões que partilham da mesma habilidade. O extremo seriam os casos de microrregiões que não registram patentes, mas estão cercadas por aquelas que o fazem, o que é observado em microrregiões que não fazem parte dos grandes centros de pesquisa, mas estão ao lado destes. De modo antagônico as regiões Norte e Nordeste têm microrregiões que apresentam padrão contrário, isto é, baixo patenteamento interno e entre os vizinhos (vale ressaltar que algumas microrregiões de Minas Gerais partilham de tal característica). Em última instância há ocorrência de elevado patenteamento numa microrregião com os vizinhos apresentando registro baixo ou nulo (ARAÚJO; GARCIA, 2019; GONÇALVES; ALMEIDA, 2009).

Faz-se necessário ressaltar que algumas tecnologias são mais correlacionadas que outras, sobretudo ao considerar o espaço (BALLAND; BOSCHMA, 2021; CORRADINI *et al.*, 2021). Especificamente para a indústria de transformação, objeto de estudo do presente trabalho, as disparidades nas regiões europeias podem ser justificadas devido a estrutura adaptativa da I4.0, barreiras a interoperabilidade de tecnologias de informação e comunicação, escassez de capital humano e ausência de políticas públicas (CASTELO-BRANCO; CRUZ-JESUS; OLIVEIRA, 2019).

A investigação da geografia da I4.0 na Europa no período 2000-2014 a partir de dados sobre patentes de classes tecnológicas retratou a relevância de acumulação de capacidades tecnológicas, *relatedness*, pesquisa tecnológica e proximidade espacial na difusão da I4.0 (CORRADINI; SANTINI; VECCIOLINI, 2021). Neste sentido, destaca-se que o desenvolvimento de I4.0 nas regiões europeias pode ser facilitado pelo financiamento e centralidade de rede, que, por sua vez, favorece o acúmulo de recursos humanos e físicos que contribuem positivamente no espriamento e interconectividade do conhecimento (MUSCIO; CUFFOLILLI, 2020). Em análise complementar, ao analisar a Europa em 2015 a partir da infraestrutura da I4.0 (isto é, considerando a combinação entre interconectividade,

interoperabilidade e virtualização) e da habilidade do processo de informação, Holanda e Finlândia destacam-se frente a Hungria, Polônia e Bulgária, considerados países defasados (CASTELO-BRANCO; CRUZ-JESUS; OLIVEIRA, 2019).

A substitutibilidade capital humano e físico fora amplificada pelo processo de informatização do trabalho (FREY; OSBORNE, 2013; FREY, OSBORNE, 2017), sobretudo com avanço da I4.0 e no mundo pós-pandêmico. A partir da rotulação de 70 ocupações entre informatizável e não informatizável, os autores classificaram o limiar para informatização a partir de: percepção e manipulação, inteligência criativa e inteligência social. Os resultados indicam que 47% do total de empregos dos Estados Unidos está sob alto risco de informatização provável entre as próximas duas décadas (FREY; OSBORNE, 2013; FREY, OSBORNE, 2017).

Apesar de a substituição do trabalho pelo capital não ser característica da Quarta Revolução Industrial, todavia é um processo que recebeu ênfase devido ao caráter de autossuficiência e independência objetivado pela I4.0 e vislumbrado em tecnologias como inteligência artificial. Outrossim 9% do emprego dos países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) são passíveis de elevado risco de automação, que varia a depender do nível educacional dos trabalhadores, especificidade do trabalho e país. Por exemplo, Coreia do Sul apresenta cerca de 6%, o Japão aproximadamente 7%, os Estados Unidos 9%, ao passo que se destacam negativamente Áustria, Alemanha, Espanha, Eslováquia e Reino Unido com alto risco acima de 10%. Ao considerar o nível educacional dos países da OCDE, indivíduos que não concluíram a primeira parcela do ensino fundamental tem risco avaliado em aproximadamente 40% (ARNTZ; GREGORY; ZIERAHN, 2016). O risco é substancialmente elevado ao considerar a educação dos indivíduos – 45% para baixo nível educacional e 35% educação média. Os homens (cerca de 35%) deverão ser mais afetados do que as mulheres (aproximadamente 26%). O mesmo desafio é enfatizado para outras economias, como Índia (MEHTA; AWASTHI, 2019), México (RAMOS, GARZA-RODRÍGUEZ; GIBAJA-ROMERO, 2022), África do Sul (CHIGBU; NEKHWEVHA, 2021) e Itália (CIRILLO *et al.*, 2021).

Ao observar os efeitos da transformação digital enquanto substituta do emprego formal no Brasil, a probabilidade de automatização para o agrupamento de trabalhadores de serviços administrativos e do grupo dos serviços, vendedores do comércio em lojas e mercados é significativamente elevada, isto embasado na robotização no mercado de serviços e na queda da vantagem comparativa do trabalho nas tarefas supracitadas (VELLINHO, 2018). Uma investigação minuciosa descreve que, dentre as tarefas de alta probabilidade de informatização, os subgrupos comunicadores, artistas e religiosos e profissionais em gastronomia e

trabalhadores do artesanato apresentaram significativa parcela de trabalhadores em alto risco, o que destoava da teoria econômica. Tais resultados são justificados pela autora como possível fragilidade da amostra dos servidores analisados ou possível perda de pluralidade ao corrigir a ambiguidade dos códigos de ocupação entre a Classificação Brasileira de Ocupações e a Classificação Ocupacional Padrão (SOC), dado que o estudo norteador toma por base a SOC para os Estados Unidos (ver FREY; OSBORNE, 2013; FREY, OSBORNE, 2017). Em outro aspecto, as tarefas de profissionais das ciências e das artes e técnicos de nível médio apresentam as menores probabilidades, dada a personalidade do indivíduo em percepção social, originalidade e poder de negociação e persuasão. De igual modo, os subgrupos técnicos polivalentes, trabalhadores da indústria extrativa e da construção civil e trabalhadores em indústrias de processos contínuos e outras indústrias foram avaliados em baixo risco enquanto esperava-se o contrário pela sua natureza rotineira (VELLINHO, 2018).

Os aspectos supracitados reforçam a relevância da investigação entre Complexidade do Conhecimento e a I4.0. A próxima seção apresenta a metodologia predominante na literatura e utilizada no presente trabalho.

3. METODOLOGIA

3.1 Referencial analítico

Este trabalho busca modelar a progressão à Quarta Revolução Industrial das Indústrias Regionais de transformação no Brasil. Entende-se, aqui, que a consolidação de Indústria 4.0 consiste no processo de conversão da base de conhecimentos de um setor, numa dada região, num dado período, de tal forma que este passe a especializar em funções que demandem habilidades, capacidades e conhecimentos compatíveis com a Quarta Revolução Industrial.

Assim, compreende-se como uma condição necessária – não necessariamente uma condição suficiente – para a transformação das indústrias em 4.0, a entrada sistemática de trabalhadores que carreguem consigo os conhecimentos intrínsecos no desempenho de funções compatíveis com as dimensões de operação dos sistemas cibernéticos e físicos (CPS), como Internet das Coisas (IoT), *big data* e inteligência artificial (BAILEY; PROPRIIS, 2019). Para isso, o arcabouço metodológico do trabalho parte da modelagem padrão da literatura recente que analisa a diversificação tecnológica nas economias regionais (BALLAND *et al.*, 2019; BALLAND; BOSCHMA, 2021; BOSCHMA; BALLAND; KOGLER, 2014; BOSCHMA; HEIMERIKS; BALLAND, 2014; FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022 e 2024; NEFFKE; HENNING; BOSCHMA, 2011).

A seleção das ocupações associadas a tais conhecimentos torna-se possível com a disseminação do Quadro Brasileiro de Qualificações (QBQ), publicado pela Secretaria do Trabalho, do Ministério do Trabalho e Emprego, que permite que esta metodologia apresente seu primeiro elemento de contribuição devido sua recente divulgação e, conseqüentemente, insólito uso na literatura (QBQ, [2021]).

O QBQ apresenta nível de qualificação da ocupação a partir dos conhecimentos, habilidades e atitudes empregadas nesta, conforme apresentado na Tabela 1. Os conhecimentos, principal objeto de estudo do presente trabalho, são divididos em dois grupos. O Grupo I comporta ocupações qualificadas nos níveis 1 a 5 e são hierarquizados em 2 domínios, 23 áreas, 238 campos e 1.558 conhecimentos, ao passo que o Grupo II adequa os níveis 6 a 8 e estão dispostos em 9 áreas, 94 campos, 450 conhecimentos, 1.075 elementos do conhecimento³.

³ O QBQ alerta que os números indicados se elevam à medida que as ocupações são analisadas. Pelos microdados, o Grupo I apresenta 19.812 conhecimentos, enquanto o Grupo II registra 5.656 elementos do conhecimento.

Tabela 1. Níveis de Ocupação

Nível	Conhecimento	Habilidade	Atitude	Demanda de formação profissional
1	conhecimentos gerais e conceitos associados a tarefas simples, que requerem habilidades básicas e que são executadas sob supervisão direta			Qualificação profissional
2	conhecimentos gerais, conceitos tecnológicos básicos e habilidades de profundidade restrita, para executar tarefas e resolver problemas simples e correntes, sob supervisão de rotina, com autonomia e responsabilidade limitadas			
3	conhecimentos especializados, fundamentos tecnológicos e habilidades para executar tarefas e resolver problemas de complexidade intermediária, sob supervisão geral			
4	conhecimentos, conceitos e procedimentos técnicos, habilidades e princípios de gestão para resolver problemas específicos, gerenciar atividades e supervisionar o trabalho de rotina de terceiros			Educação profissional técnica de nível médio
5	conhecimentos gerais abrangentes, especializados e teóricos além de habilidades para conceber soluções criativas aos problemas específicos, gerenciar ações e avaliar resultados do desempenho de terceiros			Educação profissional tecnológica de graduação e pós-graduação
6	conhecimentos aprofundados de uma área, com compreensão crítica de teorias e princípios, além de habilidades para conceber soluções criativas e inovadoras na resolução de problemas complexos, gerenciar ações ou projetos, avaliar e propor desenvolvimento profissional de terceiros			Educação Superior (exceto Educação Profissional Tecnológica)
7	conhecimentos altamente especializados e de vanguarda, além de habilidades para desenvolver novos conhecimentos na resolução de problemas complexos e imprevisíveis ligados à investigação e à inovação, assim como gerenciar e transformar contextos de trabalhos complexos, com novas abordagens estratégicas			
8	conhecimentos de ponta na vanguarda de uma área e na interligação entre áreas, além de habilidades complexas e altamente especializadas, para alargar fronteiras do conhecimento, assim como investigar e inovar na resolução de problemas críticos e soluções práticas			

Fonte: QBQ, [2021].

Cada conhecimento é avaliado por três questões, a saber: i. grau de **profundidade** do conhecimento mobilizado; ii. grau de **frequência** do uso diário; iii. grau de **importância** do conhecimento para o desempenho da ocupação. E são ordenadas de 1 a 5, representando

respectivamente muito(a) pequeno(a), pequeno(a), médio(a), grande e muito grande. Ressalta-se que para Habilidades considera-se frequência e importância, enquanto para Atitudes somente a importância (QBQ, [2021]).

A seleção das 1.048 ocupações, denominadas de agora em diante Ocupação 4.0 ou Ocupação Digital, partiu dos conhecimentos e elementos do conhecimento associados à I4.0, expostos no Quadro 1 do Anexo, selecionados a partir da proximidade com a temática analisada (FLORES; XU; LU, 2020; OSTMEIER; STROBEL, 2022; PINZONE *et al.*, 2017) para o nível médio (isto é, 3) de profundidade, frequência e importância. A escolha do nível médio se deu pela consideração de um limiar que permita captar paradigmas do Capital Humano 4.0 sem prejuízo à qualidade da pesquisa. São exemplos de conhecimentos do Grupo I: Algoritmo, Automação, Banco de Dados, Biotecnologia, Comunicações Digitais, Hardware, Internet das Coisas, Linguagem de Programação, Microcontroladores, Microprocessadores, Mineração de Dados, Realidade Virtual, Redes Convergentes, Tecnologia em Serviços de Telecomunicação e Tecnologias Aditivas (Prototipagem 3D ou Impressão 3D). Para o Grupo II, exemplifica-se: Análise de Algoritmos e Complexidade de Computação, Engenharia de Software, Lógicas e Semântica de Programas, Materiais Avançados e Nanocompósitos, Outros Elementos (Administração de Empresas) Gestão de Tecnologia e Inovação e Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas e Controles Eletrônicos).

Ressalta-se que existe uma ponderação para que conhecimentos gerais ou transversais demonstrem profundidade inferior àqueles de formação específica ou técnico-profissional, que requerem camada de profundidade maior nas atividades realizadas – como observado pelo QBQ, conhecimentos em técnicas, ferramentas, artefatos, utensílios ou equipamentos e outras singularidades tendem à nível de profundidade maior do que os conhecimentos de formação geral ou transversal. Todavia um conhecimento, mesmo que profundo, será atenuado caso tenha baixa frequência e ínfima importância, ao passo que caso a importância seja elevada, mesmo que o conhecimento seja esporádico (de baixa frequência), então este conhecimento poderá ser classificado como crucial para aquela ocupação. Por conseguinte, pode ocorrer de ocupações úteis à I4.0 serem retidas da base de dados por estarem com conhecimentos abaixo do ínfimo preestabelecido. Ademais, determinadas ocupações têm caráter próprio de atuação e, como o objetivo do QBQ é descrever as condições necessárias para exercício do desempenho da ocupação, conforme o CBO, não há senso em qualificá-las. São exemplos patentes militares, que seguem regras hierárquicas próprias das corporações, e cargos políticos, regidos por eleição popular e/ou nomeação/aprovação individual e/ou colegial (QBQ, [2021]).

A partir das dimensões ocupacionais pôde-se analisar o processo de aquisição de capacidades atreladas à Indústria 4.0 e a respectiva distribuição espacial. A geografia da produção do conhecimento fora representada por uma matriz n por k , que resulta numa rede entre espaço e conhecimento. A análise espacial se deu para a denominada Indústria Regional, isto é, as ocupações dispostas nos grupos da Indústria de Transformação desagregados na Classificação Nacional de Atividades Econômicas a nível microrregional. A escolha do nível de Indústrias Regionais consiste em um segundo diferencial deste trabalho. Parte-se do entendimento de que os processos de aquisição de conhecimento são bastante particulares para setores e regiões, de forma integrada. Assim, um movimento em direção à Indústria 4.0 na indústria de Máquinas e Equipamentos na região de Campinas não implica que o mesmo movimento seja feito por indústrias do setor localizadas na Zona Franca de Manaus. Tampouco esse movimento pode ser considerado como homogêneo em todos os setores da Indústria de Transformação da região paulista. Desta maneira, trazer as Indústrias Regionais, com suas idiosincrasias em termos de setor e região, permite uma análise mais completa do processo de inserção nas tecnologias 4.0.

Formalmente a matriz $M = (M_{c,i})$, onde $M_{c,i}$ retrata se uma Indústria Regional c ($c = 1, \dots, n$) tem Vantagem Comparativa Revelada (RCA) na produção da Ocupação 4.0 i ($i = 1, \dots, k$), no período t ($t = 2009, 2014, 2019$) o que ocorrerá caso c produza mais de i do que a média de todo o portfólio. Designando x as Ocupações 4.0 produzidas, então:

$$RCA_{c,i,t} = \begin{cases} 1, se & \frac{x(c,i,t)}{\sum_{it} x(c,i,t)} / \frac{\sum_{ct} x(c,i,t)}{\sum_{c,i,t} x(c,i,t)} \geq 1 \\ 0, caso contrário & \end{cases} \quad (1)$$

Em consonância com a literatura sobre diversificação tecnológica (BALLAND; BOSCHMA, 2021; FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022 e 2024), a expansão da I4.0 nas Indústrias Regionais Brasileiras será entendida como uma diversificação tecnológica em capacidades relacionadas às habilidades 4.0. Uma região se diversifica em um novo domínio produtivo (setor, campo tecnológico ou, como neste caso, ocupação) quando passa a apresentar Vantagem Comparativa Revelada no mesmo entre dois períodos. Isso significa dizer que essa ocupação passou a compor o portfólio de conhecimentos nas quais essa indústria é especializada.

Este processo será operacionalizado a partir da variável binária $entrada_{r,i,t,c}$, definida como:

$$entrada_{r,i,t,c} = \begin{cases} 1, & \text{se } RCA_{c,i,t-5} = 0 \text{ e } RCA_{c,i,t} = 1 \\ 0, & \text{se } RCA_{c,i,t-5} = 0 \text{ e } RCA_{c,i,t} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Desta forma, o universo da pesquisa é composto por todas as Ocupações que não faziam parte do portfólio nas quais uma Indústria Regional era especializada no período anterior ($t - 5$), conforme utilizado por demais estudiosos (BALLAND; BOSCHMA, 2021; FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022 e 2024). Aquelas Ocupações que compunham a base de conhecimentos especializados do setor, em cada região, não fazem parte da modelagem.

O índice $\gamma_{i,t}$ concatena a diversidade das microrregiões e ubiquidade do Conhecimento que possuem. A diversidade (D) é definida a partir do grau de centralidade das microrregiões ($K_{c,0}$), isto é, o número de Ocupações 4.0 em que cada Indústria Regional possui vantagem:

$$D = K_{c,0} = \sum_i M_{c,i} \quad (3)$$

Concomitantemente, a ubiquidade (U) é dada pelo grau de centralidade das ocupações ($K_{i,0}$), ou seja, as Indústrias Regionais que possuem vantagem em determinada Ocupação 4.0:

$$U = K_{i,0} = \sum_c M_{c,i} \quad (4)$$

Assim, a Complexidade do Conhecimento é definida por:

$$\gamma_{i,t} = \frac{1}{UD} \sum_j M_{c,i} \sum_i M_{c,i} \gamma_{i,t} \quad (5)$$

Propõe-se a estimação da Complexidade do Conhecimento para duas frentes, uma que capture as vantagens das Ocupações 4.0, designada $\gamma_{i,t}^o$, enquanto outra capturará o desempenho regional, $\gamma_{i,t}^r$, aqui considerado o setor da indústria de transformação na microrregião. Ao utilizar as Complexidades no modelo de diversificação regional, pressupõe-se que Conhecimentos têm pesos diferentes para difusão do processo produtivo, tanto no quesito espacial quanto da aptidão da mão de obra.

O *relatedness* entre dois produtos é medido pelo mínimo entre as probabilidades condicionais de uma Indústria Regional apresentar um conhecimento na I4.0 dado que este já obtém outro conhecimento similar (HIDALGO *et al.*; 2007). De modo geral, o *relatedness* é definido como:

$$\varphi_{i,j} = \min\{P(RCAx_i|RCAx_j), P(RCAx_j|RCAx_i)\} \quad (6)$$

Por conseguinte, a densidade do *relatedness* é:

$$densidade_relatedness_{r,i,t} = \frac{\sum_{j \in r, j \neq i} \varphi_{ij}}{\sum_{j \neq i} \varphi_{ij}} * 100 \quad (7)$$

A captura do potencial de cada microrregião na I4.0 partiu da densidade do *relatedness*. Quanto maior a densidade do *relatedness*, mais próximas as ocupações estão da I4.0 (BALLAND; BOSCHMA, 2021), o que pode indicar necessidade de tais ocupações para a ascensão de tecnologias 4.0 na Indústria Regional. Enquanto a Complexidade surge em alguns trabalhos em que este estudo está embasado, a densidade do *relatedness* é vasta no dinamismo de Entrada (BALLAND; BOSCHMA, 2021; BALLAND *et al.*, 2019; BELMARTINO, 2022; CICERONE *et al.*, 2023; FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2023; LAFFI; BOSCHMA, 2021; SANTOALHA; CONSOLI; CASTELLACCI, 2021).

A variável a ser investigada pelo presente estudo será a probabilidade da *entrada* de uma Ocupação 4.0 numa Indústria Regional, tendo como variáveis de interesse a densidade do *relatedness* e a Complexidade do Conhecimento da Indústria Regional e da Ocupação.

$$\begin{aligned} entrada_{r,i,t,c} = & \beta_1 densidade_relatedness_{r,i,t,c} \\ & + \beta_2 densidade_relatedness_4.0_{r,i,t,c} + \beta_3 \gamma_{i,t} + \beta_n controles_{r,i,t,c} \quad (8) \\ & + \alpha_r + \delta_i + \rho_t + \sigma_c + \varepsilon_{r,i,t,c} \end{aligned}$$

Propõe-se modelos de probabilidade com distribuição linear (MPL) com múltiplos efeitos fixos para captação da entrada de novas especialidades na Indústria Regional. A escolha do MPL para estimação do modelo de escolha binária frente àqueles com probabilidade normal ou logística se justifica pelo viés ou inconsistência que pode surgir nos modelos *probit* e *logit* com elevado número de variáveis *dummy* (GREENE, 2008), além do intenso consumo de tempo e poder de processamento computacional. A elevada quantidade de variáveis binárias é resultado da inserção no modelo dos múltiplos efeitos fixos – por região, setor, período e ocupação. Essa inserção busca controlar o estimador para os diversos efeitos não-observados, mas que são constantes para cada uma dessas características. Nesse sentido, o MPL é amplamente utilizado na literatura de complexidade e *relatedness* (APOSTAL; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, 2023; BAHAR *et al.*, 2019; BALLAND; BOSCHMA, 2021; BOSCHMA; CAPONE, 2015; BOSCHMA *et al.*, 2023; CICERONE *et al.*, 2023; DONOSO; MARTIN, 2016; FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2023; LI; HEIMERIKS; ALKEMADE, 2020; XIAO; BOSCHMA; ANDERSSON, 2018).

O método parte de um modelo MQO através de um algoritmo para transformação em um estimador linear *within* generalizado para múltiplas variáveis categóricas, proposto por Gaure (2013), em uma abordagem similar às soluções encontradas para estimação nos modelos

de dados em painel com efeitos fixos. A estimação eficiente, nesse contexto, é realizada com base em Bergé (2018), e operacionalizada através do pacote “fixest” no software estatístico R.

Caso uma região seja identificada com RCA na atividade laboral i no período $t - 5$, então a observação é removida da análise posterior pois uma mesma ocupação não pode surgir na região caso exista previamente. Caso a região não tenha RCA na ocupação i em $t - 5$ porém o tenha em t , então a variável de interesse assume valor 1, do contrário o valor assumido é 0. O modelo é especificado com quatro efeitos-fixos (Indústria, Região, Ocupação e Período) e $\varepsilon_{r,i,t,c}$ representa o resíduo.

3.2. Variáveis e fonte de dados

O Quadro 1 apresenta os dados utilizados na presente pesquisa, coletados para os anos 2009, 2014 e 2019 possibilitando averiguar variações nas ocupações para observar mudanças estruturais nos períodos.

A escolha das variáveis controle deu-se por parte da literatura levantada, defasadas em um período (5 anos), ao nível microrregional. A variável de interesse é a densidade do *relatedness*, conforme Balland e Boschma (2021), bem como averiguação da Complexidade do Conhecimento da Indústria Regional na difusão da especialização no emprego da I4.0, pois a entrada de novas **Ocupações 4.0 depende da medida de transbordamento do conhecimento utilizado na indústria local.**

Quadro 1. Descrição das variáveis

Variáveis	Dados	Descrição das variáveis	Sinal esperado	Fonte
<i>entrada</i>	Entrada da Ocupação 4.0 na Indústria Regional			Estimação própria
<i>densidade_relatedness</i> e <i>densidade_relatedness_4.0</i>	Conforme equação (7) para todas as Ocupações e as Ocupações 4.0	Densidade do <i>Relatedness</i> das Indústrias Regionais	+	Estimação própria
γ^r e γ^o	Conforme equação (5) respectivamente para Indústrias Regionais e Ocupações	Complexidade do Conhecimento	-	Estimação própria
<i>AltaTec</i>	Intensidade tecnológica	Alta Intensidade em Pesquisa e Desenvolvimento (tendo por base Média Alta e Média intensidade)	+	MORCEIRO (2019)
<i>AltaMediaTec</i>	Intensidade tecnológica	Alta e Média Intensidade em Pesquisa e Desenvolvimento (tendo por base Média intensidade)	+	MORCEIRO (2019)
<i>densidade_internet</i>	Acesso de banda larga	Número total de acessos de banda larga fixa dividido pela população	+	Base dos Dados
<i>pibpc</i>	Produto Interno Bruto <i>per capita</i>	PIB <i>per capita</i> a preços de 2009	+	IPEA

<i>populacao</i>	População microrregional	População microrregional	+	Base dos Dados
<i>vab_industria</i>	Valor Agregado Bruto da Indústria	Participação do valor adicionado bruto a preços correntes da indústria no valor adicionado bruto a preços correntes total	+	IBGE-SIDRA
<i>vab_servicos</i>	Valor Agregado Bruto dos Serviços	Participação do valor adicionado bruto a preços correntes do serviço no valor adicionado bruto a preços correntes total	+	IBGE-SIDRA
<i>patentepec</i>	Patentes <i>per capita</i>	Número de depósitos de patentes de invenção por microrregião para os últimos cinco anos (2010 a 2014 e 2015 a 2019) <i>per capita</i>	+	Instituto Nacional da Propriedade Industrial
<i>idh</i>	Índice de Desenvolvimento Humano	Média do agregado microrregional do Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	+	Base dos Dados

Fonte: Elaboração própria

O produto interno bruto (PIB) *per capita* (log), a participação da Indústria no Valor Adicionado Bruto e a participação dos Serviços no Valor Adicionado Bruto adequaram-se para verificar possíveis efeitos entre regiões com maior acesso a renda e/ou mais desenvolvidas. Mesmo que as variáveis de Complexidade corroborem para análise de desenvolvimento, fatores de desigualdade social merecem uma reflexão maior no que concerne a produção de novos conhecimentos – no presente caso, ascensão regional de Ocupações 4.0. Nesta mesma ideia são adicionados os controles população estimada (log) e Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, este último sendo a média para a microrregião. Por fim, três controles são alocados para captação de efeitos de base tecnológica, cerne da Indústria analisada: Depósitos de patentes de invenção *per capita* (log), Intensidade Tecnológica e Densidade da Banda Larga.

Na próxima seção são apresentados os resultados das evidências empíricas obtidas pelos indicadores e modelos econométricos propostos, bem como a discussão regional e o decorrente debate de políticas públicas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O enfoque do presente trabalho é a estimação da probabilidade do surgimento de uma nova especialização em Ocupação Digital da Quarta Revolução Industrial em algum setor da Indústria de Transformação numa microrregião brasileira. Todavia aquelas regiões que não apresentarem surgimento de especialização, em nenhum dos períodos, servirão de base para a probabilidade estimada. A tabela 2 apresenta as principais estatísticas da pesquisa. A unidade de observação neste trabalho é a ocupação presente de forma especializada ($RCA > 1$), ou não, em cada indústria regional brasileira – aqui identificada como um grupo específico da CNAE 2.0 presente em uma microrregião do Brasil. Essa combinação resulta em um universo de dezenas de milhões de unidades observacionais possíveis.

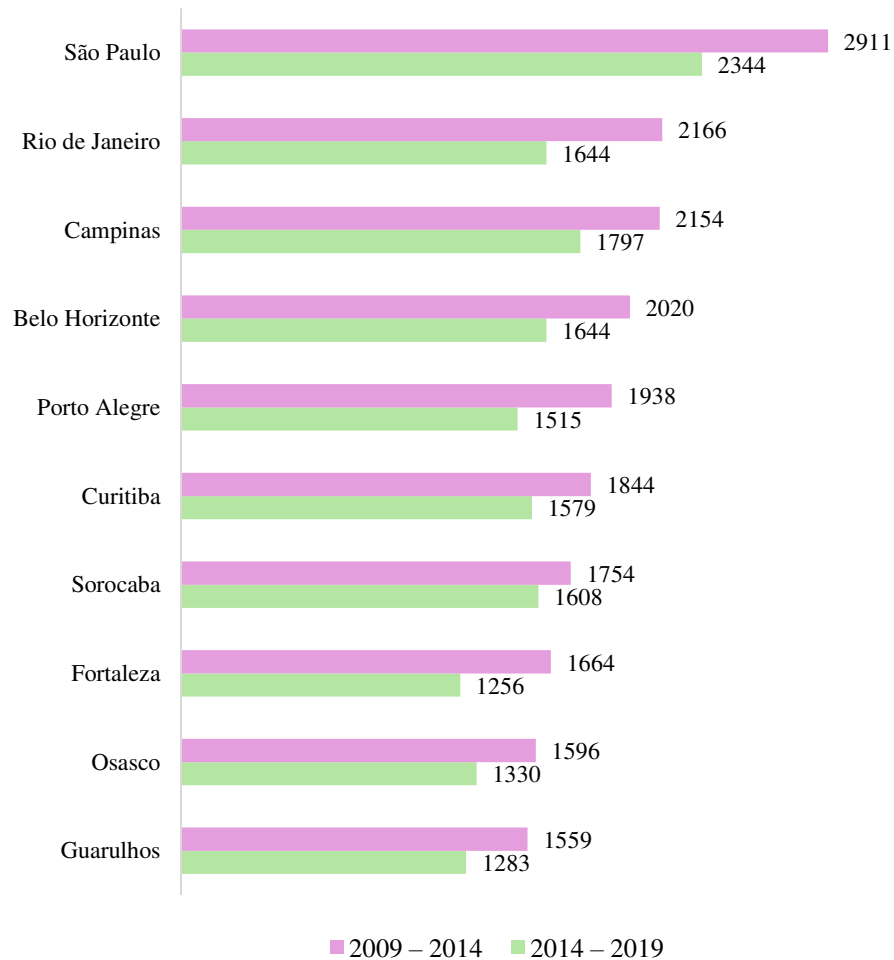
Tabela 2. Estatísticas Descritivas da Entrada de Ocupações 4.0

Estatística	Observações	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<i>entrada</i>	47847584	0	0	0	1
<i>densidade_relatedness</i>	43774812	1	3	0	100
<i>densidade_relatedness_4.0</i>	38479444	2	4	0	100
γ^r	39481344	0	0	0	1
γ^o	42151644	0	0	0	0
<i>populacao</i>	47960808	553738	1297510	2884	14597964
<i>vab_industria</i>	48289248	22	12	2	80
<i>vab_servicos</i>	48289248	43	11	9	87
<i>patente</i>	44496480	72	315	0	4270
<i>idh</i>	48289248	1	0	0	1
<i>pibpc</i>	47960808	16	11	3	182
<i>densidade_internet</i>	47960808	0	0	0	0
<i>AltaTec</i>	48289248	0	0	0	1
<i>AltaMediaTec</i>	48289248	0	0	0	1

Fonte: elaboração própria.

Em ambos os períodos São Paulo foi o Estado com maior número de entradas de Ocupações 4.0, seguido por Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Rio de Janeiro. Juntos, os seis concentraram 69,01% do surgimento de mão de obra especializada na I4.0 de 2009 a 2019. A Figura 2 apresenta as principais microrregiões com surgimento de emprego formal atrelado à I4.0. A partir dela, reitera-se a concentração da mão de obra da I4.0 no eixo Sul-Sudeste, com ênfase que metade do *ranking* de entrada é formado por microrregiões paulistas: São Paulo, Campinas, Sorocaba, Osasco e Guarulhos. As cinco contemplaram a entrada de 9.974 ocupações no primeiro período e 8.362 no segundo.

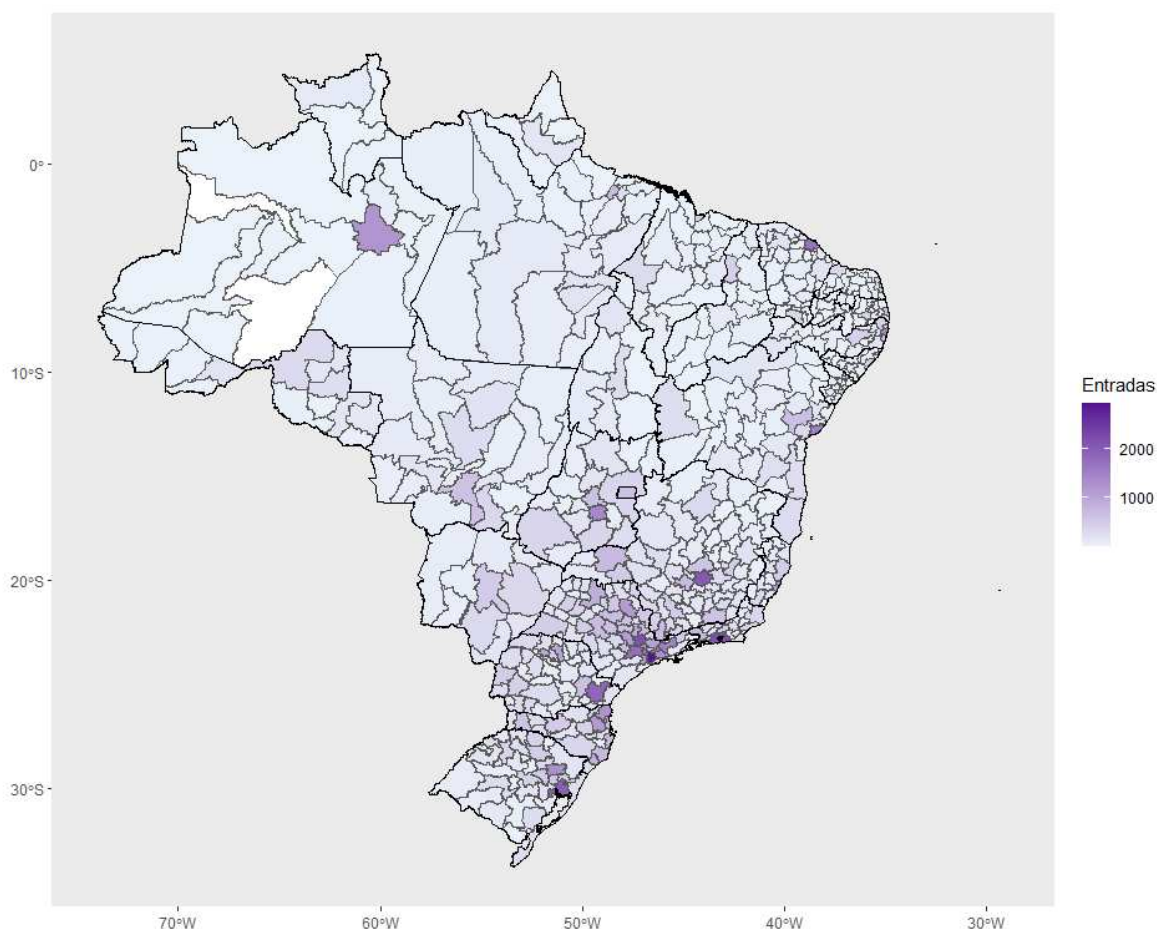
Figura 2 – Microrregiões brasileiras com mais Entradas de Ocupações 4.0



Fonte: elaboração própria com base nos dados da RAIS.

A Figura 3 exacerba a concentração espacial nas capitais do Sudeste e Sul no primeiro período, com menor proeminência para Vitória e Florianópolis. Além das citadas, destacam-se Salvador, Recife no Nordeste, Goiânia, Anápolis e Brasília no Centro-Oeste e Manaus e Belém no Norte, a primeira devido a Zona Franca de Manaus. De acordo com a Figura 4, o comportamento de concentração é semelhante para o segundo período analisado, com a observância que a única microrregião externa ao eixo supracitado, Fortaleza, registrou diminuição de 32,48% ocupações na comparação entre períodos.

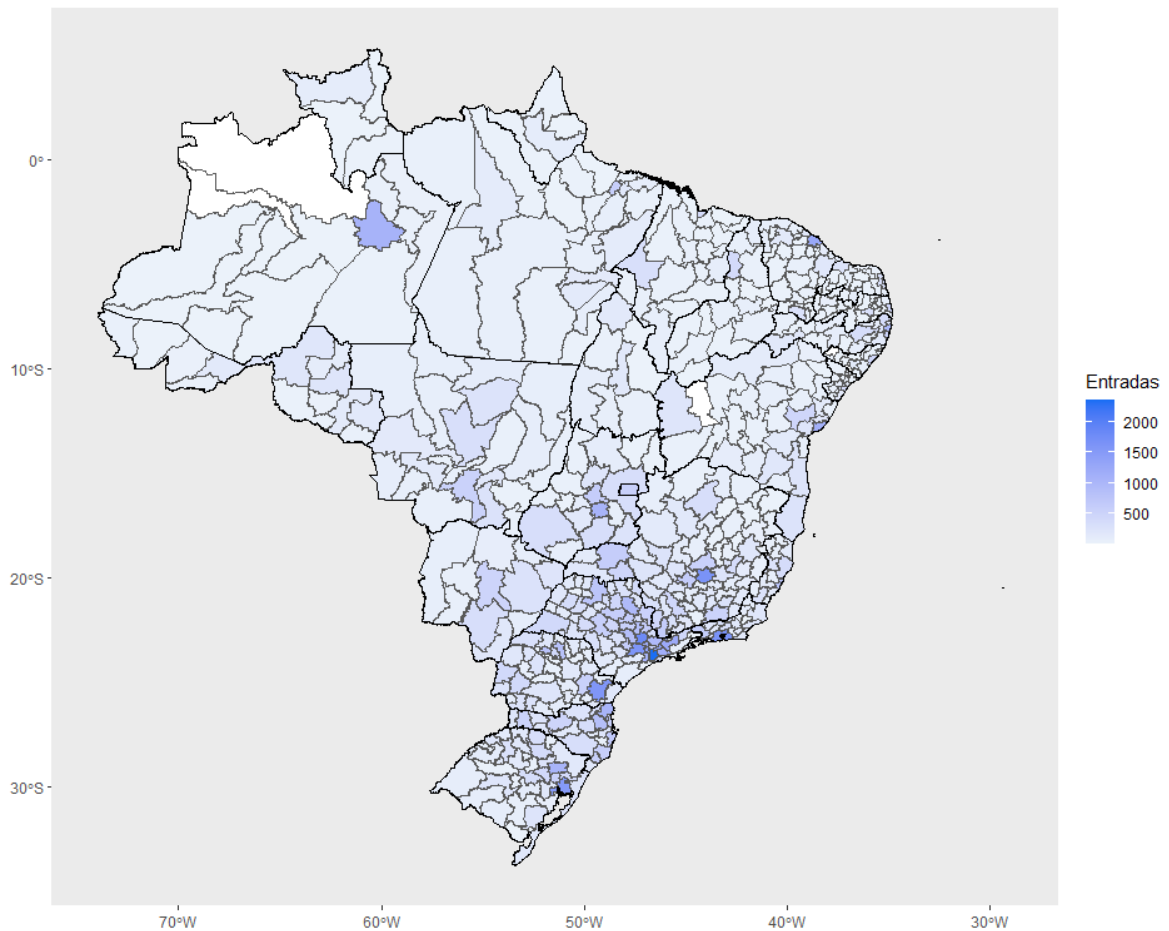
Figura 3 – Mapa de Entrada de Ocupações 4.0 nas microrregiões brasileiras no período 2009-2014



Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis na RAIS.

Para o Brasil observou-se diminuição em 14,05% do número de contratações, com ênfase para a Região Norte que, além de registrar menor volume em números absolutos, ainda apresentou o segundo maior déficit (16,36%), atrás do Nordeste (16,44%). Com exceção ao Acre, que registrou um emprego a mais, os Estados apresentaram déficit na Entrada de novas Ocupações 4.0 no segundo período. Ainda que a presente análise não permita verificar a transição dos empregos dentro e fora da I4.0, a atenuação no volume de empregos pode contribuir para ampliação do *gap* Brasil e demais países. Por exemplo, na Europa há busca pelo aperfeiçoamento da Quarta Revolução Industrial e da transição verde e digital (designado pela literatura internacional como *twin transition*) para a Indústria 5.0, focada em empregos bons. A definição desses empregos bons parte de três pilares: centralidade no homem na economia, resiliência e sustentabilidade econômica, social e ambiental (DIXSON-DECLÈVE *et al.*, 2022; DIXSON-DECLÈVE *et al.*, 2023).

Figura 4 – Mapa de Entradas de Ocupações 4.0 nas microrregiões brasileiras no período 2014-2019



Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis na RAIS.

De acordo com a Tabela 3, as principais Indústrias Regionais estão concentradas no Estado de São Paulo. Enquanto as microrregiões Rio de Janeiro e Belo Horizonte despontam no segundo período, um resultado impremeditado foi a permanência de Fortaleza e Goiânia, diferente do que foi observado para Recife e Salvador. Todas estas destacam-se no grupo de manutenção e reparação de máquinas e equipamentos, principal setor de entrada de ocupações, como mostra a Tabela 4.

Itaguaí lidera dentre o maior número de contratações de mão de obra especializada da I4.0 no primeiro período. A microrregião abriga o Complexo Naval onde é desenvolvido o Programa de Submarinos da Marinha, iniciado em 2008 numa parceria com o Governo Francês para construção de quatro submarinos convencionais e um com propulsão nuclear, bem como um complexo de infraestrutura industrial e de apoio a operação dos submarinos, como Estaleiros, Base Naval e Unidade de Fabricação de Estruturas Metálicas (MARINHA, 2023).

Um dos pilares do projeto é a transferência de conhecimento entre os envolvidos. Com relação aos submarinos convencionais, ocorreu a capacitação e qualificação de mais de 250 engenheiros e técnicos da Marinha, Nuclebrás Equipamentos Pesados e Itaguaí Construções Navais, ao passo que, para o submarino nuclear, 31 engenheiros militares e servidores civis da Marinha Brasileira receberam treinamento teórico e prático voltados a projetar submarinos e, posteriormente, passaram a trabalhar com uma equipe de 200 engenheiros e projetistas, com demanda de 600 profissionais para as próximas etapas do projeto (MARINHA, [2019]). Apesar do presente trabalho não avaliar ocupações militares (patentes), é notório o transbordamento ocorrido na base de capital humano da microrregião.

Tabela 3. Indústrias Regionais com mais Entradas de Ocupações 4.0

Grupo CNAE	Microrregião	2009-2014	Grupo CNAE	Microrregião	2014-2019
Construção de embarcações	Itaguaí	87	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	São Paulo	85
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	São Paulo	79	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Rio de Janeiro	76
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Recife	78	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Fortaleza	70
Instalação de máquinas e equipamentos	São Paulo	78	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Belo Horizonte	68
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Salvador	69	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Goiânia	66
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Sorocaba	68	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Osasco	65
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Fortaleza	67	Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente	São Paulo	60
Fabricação de produtos diversos	São Paulo	65	Fabricação de máquinas e equipamentos de uso industrial específico	Sorocaba	55
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Goiânia	64	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Campinas	55
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Campinas	63	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	Salvador	52

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis na RAIS.

A relevância de máquinas e equipamentos na Indústria 4.0 é evidenciada tanto a nível microrregional quanto do setor industrial, como mostra a Tabela 4. Como observado por Arnold, Kiel e Voigt (2016), o setor de engenharia de máquinas e instalações registrou elevação dos custos com pessoal devido à quebra no paradigma de produção: elevou-se a demanda por *software* em detrimento ao *hardware*, o que modifica as exigências de capacidades da força de trabalho. Ainda que implementando tecnologias da I4.0, especialmente Internet das Coisas, os custos tornaram-se intensivos em conhecimentos acerca de tecnologia da informação, *software* e análise de dados.

Tabela 4. Indústrias com mais Entradas de Ocupações 4.0

Grupo CNAE	2009 – 2014	Grupo CNAE	2014 – 2019
Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	5627	Manutenção e reparação de máquinas e equipamentos	5128
Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldeiraria pesada	3717	Fabricação de outros produtos alimentícios	3528
Abate e fabricação de produtos de carne	3521	Abate e fabricação de produtos de carne	3382
Fabricação de outros produtos alimentícios	3448	Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais	3233
Fabricação de produtos de material plástico	3265	Fabricação de produtos de material plástico	2967
Fabricação de móveis	3209	Laticínios	2886
Moagem, fabricação de produtos amiláceos e de alimentos para animais	3185	Fabricação de estruturas metálicas e obras de caldeiraria pesada	2639
Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral	3123	Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente	2449
Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes	3045	Instalação de máquinas e equipamentos	2396
Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente	2989	Fabricação de móveis	2373

Fonte: elaboração própria com base nos dados disponíveis na RAIS.

Para analisar a especialização regional da Indústria 4.0, estima-se a probabilidade de Entrada de uma Ocupação 4.0 integrar a Indústria Regional de Transformação. Os modelos de probabilidade linear são expostos na tabela 5. Ressalta-se que os modelos (1) e (2), por conter a Complexidade Ocupacional, não apresentam efeitos fixos de Ocupação. Por sua vez os modelos (3) e (4) consideram os efeitos fixos de Ocupação, porém não são estimados os impactos da Complexidade Ocupacional. Como explorado na segunda seção da presente dissertação, os conhecimentos da I4.0 são vastos, plurais e conectados. É primordial frisar que a utilização dos Conhecimentos sem ponderação da versatilidade intrínseca à I4.0, bem como a negligência de Habilidades e Atitudes, possibilitam equívocos na medição das condições

necessárias à diversificação regional da Quarta Revolução Industrial. Portanto o objetivo aqui não é definir suficiência na disseminação da I4.0 no Brasil, mas sim propor alguma nitidez ao que é hermético por natureza.

Observa-se que esta depende positivamente da densidade do *relatedness* da região, e mais intensivamente da proximidade que as Ocupações 4.0 têm entre si naquela microrregião. O surgimento de uma Ocupação 4.0 numa Indústria Regional leva ao ganho de especialização daquele setor industrial naquele tipo de mão de obra, isto é, uma tendência de especialização do conhecimento utilizado por tal ocupação.

Os parâmetros negativos atrelados aos Índices de Complexidade concomitam com o esperado, dado que capacidades mais complexas tendem a ser menos favoráveis de desenvolver uniformemente (BALLAND; BOSCHMA, 2021; FRANÇOSO; BOSCHMA; VONORTAS, 2022, 2024). Especialmente, os modelos (1) e (4) apresentaram sinal negativo ao coeficiente atrelado à intensidade tecnológica, corroborando com o argumento anterior. Todavia, a não significância desses parâmetros, bem como o sinal positivo nos modelos (2) e (3) instigam para melhor investigação dos reais efeitos na difusão do conhecimento da Indústria de Transformação na última década.

A Complexidade Ocupacional corrobora com o argumento da dificuldade da inserção de empregos com maiores requisitos cognitivos pela exigência de competências abrangentes e plurais. Por exemplo, estas competências podem ser classificadas em forças de trabalho leves, pesadas, digitais, cognitivas e emocionais (FLORES; XU; LU, 2019), como um conjunto de habilidades técnicas versadas no gerenciamento de operações, cadeias de suprimentos, inovação de produtos e serviços, ciência de dados e integração de tecnologias de informação e tecnologias de operações (PINZONE *et al.*, 2017) ou ainda habilidades teóricas e de conhecimento especializado, habilidades técnicas e de *hardware*, habilidades digitais (como expertise em *software* e algoritmos) e habilidades pessoais (BONGOMIN *et al.*, 2020). Não obstante, Frey e Osborne (2013, 2017) observam que ocupações com alta exigência de habilidade e com os maiores salários são menos suscetíveis a informatização. Outrossim a não significância da Complexidade da Indústria Regional, no modelo final, abre espaço para melhor investigação dos efeitos da Complexidade da Indústria nas microrregiões sobretudo ao considerar, conforme Françaço, Boschma e Vonortas (2022, 2024), que os efeitos são diferentes para áreas mais e menos complexas.

Tabela 5. Modelos de Entrada do Conhecimento 4.0 nas Indústrias Regionais

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>densidade_relatedness</i>	0,000517***	0,000517***	0,001128***	0,001347***
<i>densidade_relatedness_4.0</i>	0,000606***	0,000606***	0,000447***	0,000042***
$\gamma_{i,t}^r$	-0,001693 ^{NS}	-0,001693 ^{NS}	-0,000002***	-0,005213***
$\gamma_{i,t}^o$	-10,109962***	-10,109962***		
<i>AltaTec</i>	-0,147805 ^{NS}		1,193659 ^{NS}	
<i>AltaMediaTec</i>		0,087387 ^{NS}		-1,561079 ^{NS}
log(<i>densidade_internet</i>)	0,000774***	0,000774***	0,001034***	0,000754**
log(<i>pibpc</i>)	-0,000720 ^{NS}	-0,000720 ^{NS}	-0,000917 ^{NS}	-0,000840 ^{NS}
log(<i>populacao</i>)	-0,003075*	-0,003075*	-0,004032*	-0,003381*
<i>vab_industria</i>	0,000066**	0,000066**	0,000087***	0,000066**
<i>vab_servicos</i>	0,000023 ^{NS}	0,000023 ^{NS}	0,000015 ^{NS}	0,000022 ^{NS}
log(<i>patente</i>)	-0,000264**	-0,000264**	-0,000274**	-0,000274***
<i>idh</i>	0,005163 ^{NS}	0,005163 ^{NS}	-0,008859**	0,004883 ^{NS}
α_r	Sim	Sim	Sim	Sim
δ_i	Não	Não	Sim	Sim
ρ_t	Sim	Sim	Sim	Sim
σ_c	Sim	Sim	Sim	Sim
Observações	25.508.819	25.508.819	25.508.819	25.508.819
Log da Verossimilhança	26.281.822,7	26.281.822,7	26.773.751,3	26.773.751,3
AIC	-52.562.651,4	-52.562.651,4	-53.544.850,6	-53.544.850,6
BIC	-52.555.169,3	-52.555.169,3	-53.524.888,3	-53.524.888,3
R^2	0,007109	0,007109	0,044675	0,044675
R^2 ajustado	0,007089	0,007089	0,044625	0,044625
Pseudo R^2	-0,003474	-0,003474	-0,022257	-0,022257
Resíduo do Erro Padrão	0,086359	0,086359	0,08471	0,08471
Teste F	0,02399	0,02399	0,018944.	0,018944

Fonte: elaboração própria.

Nota: (***) nível de significância de 1%, (**) nível de significância de 5%, (*) nível de significância de 10%, (^{NS}) não significativo.

O efeito positivo da densidade do acesso de banda larga (em log) corrobora com as expectativas do modelo, indicando que Ocupações 4.0 tendem a surgir em locais com maior acesso à internet *per capita*. A variável de controle populacional (em log) é significativa com parâmetro negativo, contrapondo estudos que indicam a I4.0 e suas tecnologias concentrando-se em regiões populosas por estas serem mais complexas. O PIB *per capita* (em log) e o Índice de Desenvolvimento Humano não apresentaram significância estatística em seu parâmetro (com exceção ao terceiro modelo, o que remete a uma atenciosa investigação em trabalhos futuros).

A participação da Indústria e dos Serviços no PIB apresentaram parâmetro positivo, contudo apenas a primeira variável é estatisticamente significativa. Isto pode indicar que o processo de ascensão da I4.0 está acontecendo a partir da indústria, ao passo que o setor de serviços angaria as externalidades, porém não é determinístico na consolidação da base de habilidades necessárias para estabilização da Quarta Revolução Industrial no Brasil. Como observado por Frey e Osborne (2013, 2017), há amplo debate quanto a propensão da informatização na manufatura, devido ao avanço tecnológico dos equipamentos na execução de tarefas manuais rotineiras e não rotineiras.

Num primeiro momento, esperava-se que patenteamento *per capita* apresentasse impacto positivo, considerando a similaridade entre patentes e tecnologias da I4.0. De modo antagônico, a variável apresenta sinal negativo e significativo. Possíveis fatores são a limitação do presente estudo ao não diferenciar as demais patentes daquelas atreladas a I4.0 (inteligência artificial, realidade aumentada, robôs autônomos, veículos autônomos, computação em nuvem, *cyber* segurança, *machine tools*, computadores quânticos, sistemas integrados) além de não examinar unicamente concessões, isto é, os pedidos de patenteamento que foram acatados. Além disso, Zucoloto [2011] atenta que empresas inovadoras da indústria de transformação preterem patentes (18,4%) a marcas (47,1%) enquanto método de proteção, e ressalta a ênfase dada a segredo industrial (16,7%).

Ainda que este seja um resultado fora do esperado, a análise de uma temática *de per se* peculiar, num país heterogêneo e em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, apresenta características únicas e, por conseguinte, deve ser estudada pelas vertentes e óticas possíveis para trazer luz ao tema e encaminhar a respostas factíveis.

A próxima e última seção apresenta as conclusões obtidas pela presente dissertação, bem como suas limitações e indicativos de políticas públicas.

5. CONCLUSÕES

Para identificar possíveis oportunidades de especialização da I4.0 no Brasil, esta dissertação propôs analisar a difusão da base de conhecimento a partir do surgimento de empregos com capacidades necessárias ao desenvolvimento de tecnologias características à I4.0. Essas tecnologias, múltiplas na literatura, podem ser definidas como a integração dos sistemas ciberfísicos e IoT, *big data*, computação em nuvem, robótica, inteligência artificial e manufatura aditiva (BAILEY; DE PROPRIS, 2019), ou ainda incorporam outros elementos, como realidade aumentada, robôs e veículos autônomos, segurança cibernética, *machine tools*, computadores quânticos e sistemas integrados (BOSCHMA; BALLAND, 2021). Classificou-se 1.048 ocupações, a partir do QBQ, dentre 1.558 conhecimentos e 1.075 áreas de conhecimento com mínimo de exigência para sua consolidação, de acordo com a revisão da literatura. Posteriormente, estimou-se a proximidade entre Ocupações 4.0, bem como a Complexidade das Ocupações e Indústrias Regionais, para verificar o processo de Entrada Ocupacional na I4.0 entre 2009 e 2019. Os resultados das principais variáveis de investigação – complexidade e *relatedness* – concomitaram com os achados da literatura. A análise empírica confirmou as expectativas, isto é, há clara concentração de conhecimentos oriundos à I4.0 nos estados do Sudeste e Sul do Brasil. Ressalva-se que este não é um processo indiscutivelmente atrelado às bases altamente tecnológicas, populosas ou de elevada renda populacional. Este é, portanto, um indicativo de que a I4.0 depende, mas não é adstrita, à espaços demasiadamente desenvolvidos, todavia é intrínseca às regiões manufatureiras.

É importante relatar que a União Europeia aparece na vanguarda do incentivo às políticas industriais e regionais de pesquisa e inovação com a Estratégia de Especialização Inteligente (*Smart Specialisation Strategy*), especialmente com relação ao desenho de políticas inteligentes que utilizam mudanças estruturais factíveis com a realidade regional, o conceito de integração – inovações complementares entre setores, sem enfoque em produtos singulares – e o espírito empreendedor das firmas e instituições, substancial para vivenciar intervenções e oportunidades na economia (BAILEY; DE PROPRIS, 2019). Algumas políticas locais podem ser refletidas em sentido conexo. Neste aspecto, vale mencionar que o Governo Federal anunciou o Plano Mais Produção, parte da Nova Indústria Brasil, política de desenvolvimento industrial que prevê R\$ 300 bilhões em políticas de subsídios, empréstimos com juros baixos e ampliação de investimentos federais até 2026, projetando seis missões até 2033: i. cadeias agroindustriais sustentáveis e digitais; ii. complexo econômico e industrial para saúde; iii. infraestrutura, saneamento, moradia e mobilidade sustentáveis; iv. transformação digital; v.

bioeconomia, descarbonização, transição e segurança energética; e vi. tecnologias de soberania e defesa nacional (AGÊNCIA BNDES, 2024; MDIC, 2024). Os achados da supracitada dissertação corroboram com as expectativas de incentivo para a Indústria de Transformação, sobretudo nos eixos da vanguarda tecnológica e pluralidade de saberes na consagração da I4.0.

Algumas limitações impostas aqui podem ser exploradas por outros trabalhos. Em primeiro lugar, o uso de patentes contribuiria para verificação das capacidades da I4.0 e validação dos resultados e, mesmo para países emergentes como o Brasil, essa é uma discussão relevante a ser considerada. Segundo ponto, a investigação das Ocupações 4.0 limitou-se a definir quem era ou não necessário à I4.0. Uma proposição seria ponderar os empregos por seus conhecimentos, habilidades e atitudes, herdados do QBQ, e examinar a relevância para consolidação da Quarta Revolução Industrial. Terceiro, uma exploração minuciosa da Geografia Econômica, a partir dos Mapas de Complexidade do Conhecimento, é extremamente convidativa e pertinente. Em quarto e para complementar, uma análise empírica econométrico-espacial permitiria definir os nexos regionais que, de fato, merecem diligência.

REFERÊNCIAS

ADAMCZYK, William; EHRL, Philipp; MONASTERIO, Leonardo. Skills and employment transitions in Brazil. **51º Encontro Nacional de Economia**, 2023. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2023/submissao/files_I/i13-64a06341df4ff26e5189133728ceace1.pdf. Acesso em: 7 mar. 2024.

AGÊNCIA BNDES. **Plano Mais Produção tem R\$ 250 bilhões do BNDES até 2026 para Nova Política Industrial**, 2024. Disponível em: [https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Plano-Mais-Producao-tem-R\\$-250-bilhoes-do-BNDES-ate-2026-para-nova-politica-industrial/](https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Plano-Mais-Producao-tem-R$-250-bilhoes-do-BNDES-ate-2026-para-nova-politica-industrial/). Acesso em: 20 mar. 2024.

ALBUQUERQUE, Pedro Henrique Melo; SAAVEDRA, Cayano Atreio Portela Bárcena; DE MORAIS, Rafael Lima; ALVES, Patrick Franco; YAOHAO, Peng. Na era das máquinas, o emprego é de quem? Estimção da probabilidade de automação de ocupações no Brasil. **IPEA Texto para Discussão 2457**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/9930>. Acesso em: 4 fev. 2023.

ALMEIDA, E. **Econometria Espacial Aplicada**. Campinas: Alínea, 2012.

AMARAL, Pedro V.; ANSELIN, Luc. Finite sample properties of Moran's I test for spatial autocorrelation in tobit models. **Papers in Regional Science**, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pirs.12034>. Acesso em: 6 fev. 2023.

AMARAL, Pedro V.; DE CARVALHO, Lucas Resende; ROCHA, Thiago Augusto Hernandez; DA SILVA, Núbia Cristina; VISSOCI, João Ricardo Nickenig. Geospatial modeling of microcephaly and zika virus spread patterns in Brazil. **Plos One**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222668>. Acesso em: 06 fev. 2023.

APOSTAL, Stefan; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Eduardo. Digitalisation in European regions: Unravelling the impact of relatedness and complexity on digital technology adoption and productivity growth. **Papers in Evolutionary Economic Geography**, 2023. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/egu/wpaper/2317.html>. Acesso em: 25 mar. 2024.

ARAÚJO, Veneziano de Castro; GARCIA, Renato. Determinants and spatial dependence of innovation in Brazilian regions: evidence from a Spatial Tobit Model. **Nova Economia**, p. 375-400, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6351/4456>. Acesso em: 6 fev. 2023.

ARNOLD, Christian; KIEL, Daniel; VOIGT, Kai-Ingo. How The Industrial Internet of Things Changes Business Models In Different Manufacturing Industries. **International Journal of Innovation Management**, 2016. Disponível em <https://doi.org/10.1142/S1363919616400156>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ARNTZ, Melanie; TERRY, Gregory; ZIERAHN, Ulrich. The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. **OECD Social, Employment and Migration Working Papers**, 2016. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>. Acesso em: 12 mar. 2023.

BAHAR, Dany; ROSENOW, Samuel; STEIN, Ernesto; WAGNER, Rodrigo. Export take-offs and acceleration: Unpacking cross-sector linkages in the evolution of comparative advantage. **World Development**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.12.016>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BAILEY, D.; PROPRIIS, L. Industry 4.0, regional disparities and transformative industrial policy. In: BARZOTTO, M.; CORRADINI, C.; FAI, F. M.; LABORY, S.; TOMLINSON, P. R. **Revitalising Lagging Regions: Smart Specialisation and Industry 4.0**. 1. ed. Abingdon: Taylor & Francis, 2019. Cap. 6, p. 67-78.

BALLAND, P.-A. Relatedness and the geography of innovation. In: SHEARMU, R.; CARRINCAZEUX, C.; DOLOREUX, D. **Handbook on the Geographies of Innovation**. 1. ed. Massachusets: Edward Elgar Publishing, 2016. Cap. 6, p. 127-141.

BALLAND, P.-A.; BOSCHMA, R. Mapping the potentials of regions in Europe to contribute to new knowledge production in Industry 4.0 technologies. **Regional Studies**, p. 1652-1666, 2021.

BALLAND, Pierre-Alexandre; BOSCHMA, Ron; CRESPO, Joan; RIGBY, David L. Smart specialization policy in the European Union: relatedness, knowledge complexity and regional diversification. **Regional Studies**, v. 53, p. 1252-1268, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2018.1437900>. Acesso em: 21 nov. 2022.

BALLAND, Pierre-Alexandre; RIGBY, David. The Geography of Complex Knowledge. **Economic Geography**, 2016. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1080/00130095.2016.1205947>. Acesso em: 25 nov. 2022.

BERGÉ, Laurent. **Efficient estimation of maximum likelihood models with multiple fixed effects**: the R package FENmlm. CREA Discussion Papers, nº 13, 2018.

BONGOMIN, Ocident; OCEN, Gilbert Gilibrays; NGANYI, Eric Oyondi; MUSINGUZI, Alex; OMARA, Timothy. Exponential Disruptive Technologies and the Required Skills of Industry 4.0. **Journal of Engineering**, volume 2020, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2020/4280156>. Acesso em: 24 nov. 2023.

BOSCHMA, Ron. HEIMERIKS, Gaston; BALLAND, Pierre-Alexandre. Scientific knowledge dynamics and relatedness in biotech cities. **Research Policy**, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.07.009>. Acesso em: 12 abr. 2023.

BOSCHMA, Ron; BALLAND, Pierre-Alexandre; KOGLER, Dieter Franz. Relatedness and technological change in cities: the rise and fall of technological knowledge in US metropolitan areas from 1981 to 2010. **Industrial and Corporate Change**, p. 223-250, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icc/dtu012>. Acesso em: 5 jan. 2023.

BOSCHMA, Ron; CAPONE, Gianluca. Institutions and diversification: Related versus unrelated diversification in a varieties of capitalism framework. **Research Policy**, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.013>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BOSCHMA, Ron; MIGUELEZ, Ernest; MORENO, Rosina; OCAMPO-CORRALES, Diego B. The Role of Relatedness and Unrelatedness for the Geography of Technological Breakthroughs in Europe. **Economic Geography**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00130095.2022.2134005>. Acesso em: 25 mar. 2024.

BUYUKYAZICI, D.; MAZZONI, L.; RICCABONI, M.; SERTI, F.. Workplace skills as regional capabilities: relatedness, complexity and industrial diversification of regions. **Regional Studies**, p. 469-489, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2206868>. Acesso em: 21 mar. 2024.

CASTELO-BRANCO, Isabel; CRUZ-JESUS, Frederico; OLIVEIRA, Tiago. Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. **Computers in Industry**, p. 22-32, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.01.007>. Acesso em: 6 fev. 2023.

CHENG, Guo-Jian; LIU, Li-Ting; QIANG, Xin-Jian; LIU, Ye. Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing. **2016 International Conference on Information System and Artificial Intelligence**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ISAI.2016.0092>. Acesso em: 5 fev. 2023.

CHIGBU, Bianca Ifeoma; NEKHWEVHA, Fhulu H. Automation of employment in the presence of industry 4.0: The case of Mexico. **Technology in Society**, Volume 67, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101715>. Acesso em: 15 mar. 2023.

CICERONE, Gloria; FAGGIAN, Alessandra; MONTRESOR, Sandro; RENTOCCHINI, Francesco; Regional artificial intelligence and the geography of environmental technologies: does local AI knowledge help regional green-tech specialization? **Regional Studies**, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2092610>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CIRILLO, Valeria; RINALDINI, Matteo; STACCIOLI, Jacopo; VIRGILLITO, Maria Enrica. Technology vs. workers: the case of Italy's Industry 4.0 factories. **Structural Change and Economic Dynamics**, p. 166-183, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2020.09.007>. Acesso em: 6 fev. 2023.

CORÒ, G.; PLECHERO, M.; RULLANI, F.; VOLPE, M. Industry 4.0 technological trajectories and traditional manufacturing regions: the role of knowledge workers. **Regional Studies**, p. 1681-1695, 2021.

CORRADINI, C.; SANTINI, E.; VECCIOLINI, C. The geography of Industry 4.0 technologies across European regions. **Regional Studies**, p. 1667-1680, 2021.

DAHIS, Ricardo; CARABETTA, João; SCOVINO, Fernanda; ISRAEL, Frederico; OLIVEIRA, Diego. **Data Basis: Universalizing Access to High-Quality Data**. Disponível em: <osf.io/preprints/socarxiv/r76yg>. Acesso em: 2 fev. 2024.

DIXSON-DECLÈVE, S.; BALLAND, P.-A.; BRIA, F.; CHARVERIAT, C.; DUNLOP, K.; GIOVANNINI, E.; TATAJ, D.; HIDALGO, C.; HUANG, A.; ISAKSSON, D.; MARTINS, F.; ROCA, M. M.; MORLET, A.; RENDA, A.; SERGER, S. S.. Industry 5.0: A Transformative Vision for Europe. **European Commission**. Disponível em: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/knowledge-publications-tools-and-data/publications/all-publications/industry-50-transformative-vision-europe_en#files. Acesso em: 04 mar. 2024.

DIXSON-DECLÈVE, S.; DUNLOP, K.; RENDA, A.; CHARVERIAT, C.; CHRISTOPHILOPOULOS, E.; BALLAND, P.-A.; ISAKSSON, D.; MARTINS, F.; ROCA, M. M.; PEDERSEN, G.; SERGER, S. S.; SOETE, L.; STRES, S.; GOLEBIEWSKA-TATAJ, D.; WALZ, R.; HUANG, A.. Industry 5.0 and the Future of Work: making Europe Centre of Gravity for future good-quality Jobs. **Publications Office of the European Union**, 2023. Disponível em: <https://data.europa.eu/doi/10.2777/685878>. Acesso em: 04 de março de 2024.

DONOSO, V.; MARTIN, V. Product relatedness and economic diversification in the USA: an analysis at the state level. **The Annals of Regional Science**, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00168-016-0747-8>. Acesso em: 25 mar. 2024.

DZYURDZYA, O. A.; GUDKOVA, O. E.; KAMCHATOVA, E. Y.; FEDOTOVA, G. V.; KOMAROV, V. Y. The Transformation of the Industrial Economic Sector in the Conditions of Industry 4.0. **Business 4.0 as a Subject of the Digital Economy**, p. 1107–1111, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-030-90324-4_183. Acesso em: 6 fev. 2023.

ESSLETZBICHLER, Jürgen. Relatedness, Industrial Branching and Technological Cohesion in US Metropolitan Areas. **Regional Studies**, p. 752-766, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2013.806793>. Acesso em: 5 jan. 2023.

EUROPEAN PATENT OFFICE. **Patents and the Fourth Industrial Revolution: The global technology trends enabling the data-driven economy**. Disponível em: <https://www.epo.org/4IR>. Acesso em: 8 mar. 2023.

FLORES, Emmanuel; XU, Xun; LU, Yuqian; Human Capital 4.0: a workforce competence typology for Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, vol. 31, n. 4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2019-0309>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FRANÇOSO, M. S.; BOSCHMA, R.; VONORTAS, N. Regional diversification in Brazil: The role of relatedness and complexity. **Growth and Change**, e12702., 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/grow.12702>. Acesso em: 04 de março de 2024.

FRANÇOSO, Mariane Santos; BOSCHMA, Ron; VONORTAS, Nicholas. Regional diversification in Brazil: the role of relatedness and complexity. **Papers in Evolutionary Economic Geography**, 2022. Disponível em:

<https://peeg.wordpress.com/2022/03/15/22-06-regional-diversification-in-brazil-the-role-of-relatedness-and-complexity/>. Acesso em: 20 nov. 2022.

FRANÇOSO, Mariane Santos; BOSCHMA, Ron; VONORTAS, Nicholas. Regional diversification in Brazil: The role of relatedness and complexity. **Growth and Change**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/grow.12702>. Acesso em: 25 mar. 2024.

FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A.. The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation? **Oxford Martin Programme on Technology and Employment**, 2013. Disponível em: <https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/publications/the-future-of-employment>. Acesso em: 20 nov. 2023.

FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A.. The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation? **Technological Forecasting and Social Change**, volume 114, p. 254-280, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>. Acesso em: 21 nov. 2023.

GAURE, Simen. OLS with multiple high dimensional category variables. **Computational Statistics & Data Analysis**, v. 66, p. 8-18, 2013.

GHADGE, A.; ER KARA, M.; MORADLOU, H.; GOSWAMI, M. The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 31, N. 4, p. 669-686, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0368>. Acesso em: 6 fev. 2023.

GONÇALVES, Eduardo. ALMEIDA, Eduardo. Innovation and Spatial Knowledge Spillovers: Evidence from Brazilian Patent Data. **Regional Studies**, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343400701874131>. Acesso em: 18 mar. 2023.

GREENE, W.H. **Econometric Analysis**. 6ª Edição.

HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, Eduardo; BOSCHMA, Ron; MORRISON, Andrea; YE, Xianjia. **Papers in Evolutionary Economic Geography**, 2023. Disponível em: <https://ideas.repec.org/p/egu/wpaper/2316.html>. Acesso em: 25 mar. 2024.

HERVAS-OLIVER, J. L.; BORONAT-MOLL, C.; SEMPERE-RIPOLL, F.; DAHOUI-OBON, J. M.. Industry diversification in industrial districts: is it about embedded regional or firm-level capabilities? **Regional Studies**, p. 756-767, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2023.2244527>. Acesso em: 21 mar. 2024.

HIDALGO, C. A.; KLINGER, B.; BARABÁSI, A.-L.; HAUSMANN, R. The Product Space Conditions the Development of Nations. **Science**, p. 482-487, 2007.

HIDALGO, C. A.; HAUSMANN, R. The build of economic complexity. **PNAS**, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0900943106>. Acesso em: 6 jan. 2023.

HIDALGO, C.A.; BALLAND, P.-A.; BOSCHMA, R.; DELGADO, M.; FELDMAN, M.; FRENKEN, K.; GLAESER, E.; HE, C.; KOGLER, D. F.; MORRISON, A.; NEFFKE, F.; RIGBY, D.; STERN, S.; ZHEND, S.; ZHU, S. (2018). The Principle of Relatedness. In: MORALES, A.; GERSHENSON, C.; BRAHA, D.; MINAI, A.; BAR-YAM, Y. (eds). **Unifying Themes in Complex Systems IX**. ICCS 2018. Springer Proceedings in Complexity. Springer, Cham. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-319-96661-8_46. Acesso em: 20 nov. 2022.

IBGE. **Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/>. Acesso em: 2 fev. 2024.

INPI. **Pesquisa em Propriedade Industrial – PEPI**. Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>. Acesso em: 2 fev. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Ipeadata**. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 3 fev. 2024.

LI, DEYU; HEIMERIKS, GASTON; ALKEMADE; FLOOR. The emergence of renewable energy technologies at country level: relatedness, international knowledge spillovers and domestic energy markets. **Industry and Innovation**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13662716.2020.1713734>. Acesso em: 25 mar. 2024.

MARINHA. **O Prosub**, 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/institucional>. Acesso em: 20 mar. 2024.

MARINHA. **Transferência de Tecnologia**, [2019]. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/transferencia-nuclear>. Acesso em: 20 mar. 2024.

MEHTA, Balwant Singh; AWASTHI, Ishwar Chandra. Industry 4.0 and Future of Work in India. **FIIB Business Review**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2319714519830489>. Acesso em: 7 fev. 2023.

MIDC. BNDES detalha valores a serem investidos no Plano Mais Produção, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/janeiro/bndes-detalha-valores-a-serem-investidos-no-plano-mais-producao>. Acesso em: 20 mar. 2024.

MORCEIRO, P. C. Nova Classificação de Intensidade Tecnológica da OCDE e a Posição do Brasil. **Temas de Economia Aplicada**. São Paulo: Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (Fipe), 2019.

MUSCIO, Alessandro; CIFFOLILLI, Andrea. What drives the capacity to integrate Industry 4.0 technologies? Evidence from European R&D projects. **Economics of Innovation and New Technology**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1597413>. Acesso em: 6 fev. 2023.

NEFFKE, F.; HENNING, M.; BOSCHMA, R. How Do Regions Diversify over Time? Industry Relatedness and the Development of New Growth Paths in Regions.

Economic Geography, p. 237-265, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1944-8287.2011.01121.x>. Acesso em: 5 jan. 2023.

OSTMEIER, Esther; STROBEL, Maria. Building skills in the context of digital transformation: How industry digital maturity drives proactive skill development. **Journal of Business Research**, vol. 139, p. 718-730, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.09.020>. Acesso em: 6 jan. 2024.

PETRALIA, Sergio; BALLAND, Pierre-Alexandre; MORRISON, Andrea. Climbing the ladder of technological development. **Research Policy**, p. 956-969, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.03.012>. Acesso em 5 jan. 2023.

PINHEIRO, Flávio L.; BALLAND, Pierre-Alexandre; BOSCHMA, Ron; HARTMANN, Dominik. The dark side of the geography of innovation: relatedness, complexity and regional inequality in Europe. **Regional Studies**, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00343404.2022.2106362>. Acesso em: 6 jan. 2023.

PINZONE, Marta; FANTINI, Paola; PERINI, Stefano; GARAVAGLIA, Stefano; TAISCH, Marco; MIRAGLIOTTA, Giovanni. Jobs and Skills in Industry 4.0: An Exploratory Research. In: LÖDDING, H.; RIEDEL, R.; THOBEN, K.D.; VON CIEMINSKI, G.; KIRITSIS, D. **Advances in Production Management Systems: The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing**. Springer, 2017. APMS 2017. IFIP, vol 513. Springer, Cham.

PROPRIS, L.; BAILEY, D. Pathways of regional transformation and Industry 4.0. **Regional Studies**, p. 1617-1629, 2021.

RAMOS, Minerva E.; GARZA-RODRÍGUEZ, Jorge; GIBAJA-ROMERO, Damian E.. Automation of employment in the presence of industry 4.0: The case of Mexico. **Technology in Society**, Volume 68, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101837>. Acesso em: 15 mar. 2023.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, 2021. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 15 mar. 2023.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R. **RStudio**, 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

STRANGE, R.; ZUCHELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business. **Multinational Business Review**, Vol. 25, No. 3, p. 174-184, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1108/MBR-05-2017-0028>. Acesso em: 6 fev. 2023.

SUKHODOLOV, Y. A. The Notion, Essence, and Peculiarities of Industry 4.0 as a Sphere of Industry. Em: POPKOVA, E. G.; RAGULINA, Y. V.; BOGOVIZ, A. V. (eds). **Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century**. 1. Ed. Cham: Springer, 2019. Cap. 1, p. 3-10.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FETTERMANN, Diego. **International Journal of Production Research**, Vol. 56, No. 8, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>. Acesso em: 10 mar. 2023.

VELLINHO, Stephania Ribeiro. **Estrutura da Ocupação Formal no Brasil: Efeitos da Transformação Digital**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

WHITTLE, Adam; KOGLER, Dieter F. Related to what? Reviewing the literature on technological relatedness: Where we are now and where can we go? **Papers in Regional Science**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pirs.12481>. Acesso em: 6 jan. 2023.

WOOLDRIDGE, J.F.. **Introdução à Econometria: Uma abordagem moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

XIAO, Jing; BOSCHMA, Ron; ANDERSSON, Martin. Industrial Diversification in Europe: The Differentiated Role of Relatedness. **Economic Geography**, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00130095.2018.1444989>. Acesso em: 25 mar. 2024.

XU, Li Da; XU, Eric L.; LI, Ling. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, p. 2941-2962, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>. Acesso em: 6 fev. 2023.

YAZGAN, Deniz. **Industry 4.0 Skills**. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Gestão) – Escola de Engenharia de Informação e Industrial, Politecnico di Milano, Milão, 2021.

ZUCOLOTO, Graziela Ferrero. Panorama do patenteamento brasileiro. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5412>. Acesso em: 25 mar. 2024.

ANEXO

Quadro 1. Conhecimentos e elementos do conhecimento por grupo de ocupações

Grupo I. Níveis 1 a 5 de conhecimento
<p>Algoritmo; Automação; Automação De Biblioteca Escolar; Automação De Máquinas Industriais; Automação Em Agricultura; Automação Em Alimentação; Automação Em Área Florestal; Automação Em Eventos; Automação Em Hospedagem; Automação Em Pecuária; Automação Em Pesca E Aquicultura; Automação Em Serviços Bancários; Automação Em Serviços De Energia; Automação Em Serviços De Portaria E Vigilância; Automação Em Serviços De Telecomunicações; Automação Em Turismo; Automação Na Área Cultural; Automação Na Área De Armazenagem; Automação Na Área De Correios; Automação Na Área De Cuidados De Animais Domésticos; Automação Na Área De Estética; Automação Na Área De Moda; Automação Na Área De Transportes; Automação No Comércio; Banco De Dados; Big Data; Biotecnologia; Comunicações Digitais; Hardware; Informática; Informática De Instituições Financeiras; Médica; Inovação Em Design E Decoração; Inovação Em Serviços Administrativos E Financeiros; Inovação Em Serviços Financeiros; Inovação Na Área Comercial; Inovação Na Área Da Estética; Inovação Na Área Da Moda; Inovação Na Área De Esporte; Inovação Na Área De Eventos; Inovação Na Área De Gastronomia E Alimentação; Inovação Na Área De Hospedagem; Inovação Na Área De Lazer; Inovação Na Área De Saúde; Inovação Na Área De Turismo; Inovação Na Área Dos Serviços Às Pessoas; Inovação Na Área Industrial; Inovação Na Produção Cultural; Inovações Em Serviços De Energia; Inovações Em Serviços De Telecomunicações; Inovações Na Aquicultura; Inovações Na Pecuária; Inovações Na Pesca; Inovações Na Produção Agrícola; Inovações Na Produção Florestal; Inteligência Artificial; Internet; Internet Das Coisas; Linguagem De Programação; Materiais Avançados E Nanocompósitos; Mecatrônica (Automação); Mecatrônica (Robotização); Microcontroladores; Microprocessadores; Mineração De Dados; Nanotecnologia; Novos Materiais; Operação De Robô Industrial; Programação Da Manutenção; Programação De Máquinas Mecânicas; Programação De Robôs; Realidade Aumentada; Realidade Aumentada Em Atividades De Ensino; Realidade Virtual; Realidade Virtual Em Atividades De Ensino; Redes Convergentes; Redes De Longa Distância; Redes E Telecomunicações; Redes Locais; Redes Sociais; Reparação De Equipamentos De Telefonia E Comunicação; Robotização Em Agricultura; Robotização Em Aquicultura; Robotização Em Área Florestal; Robotização Em Cirurgia; Robotização Em Pesca; Robotização Em Telecomunicações;</p>

Robotização Na Área Da Moda; Robotização Na Área De Armazenagem; Robotização Na Área De Eventos; Robotização Na Área De Turismo; Robotização Nos Serviços De Entrega; Sistemas Analógicos E Digitais; Sistemas Automatizados Na Área De Saúde; Sistemas De Informação; Software - Business Intelligence-Bi; Software - Cad-Cam; Software - Cim; Software - Sistema De Comunicação E Arquivamento De Imagens (Pacs); Software - Sistemas De Informação Em Radiologia (Ris); Tecnologia Em Serviços De Telecomunicações; Tecnologias Aditivas (Prototipagem 3d Ou Impressão 3d); Teoria Da Comunicação; Teoria Da Informação; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Fundamentos Da Inteligência Artificial / Aplicações Para A Área Industrial Têxtil; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Em Transportes, Armazenagem E Correios (Especificar:...) - Desenvolvimentos Pró Aumento De Produtividade Nas Operações Portuárias: Aplicações De Inteligência Artificial, Algoritmos De Atracação, Uso De Vts – Vessel Traffic Service E Outros; Outros Conhecimentos De Automação Em Serviços Financeiros E Afins (Especificar:...) - Impactos Da Inteligência Artificial E Internet Das Coisas Na Área De Seguros; Outros Conhecimentos De Tecnologias Da Informação E Comunicação (Especificar:...) - Software – Sistemas De Inteligência Artificial Para Análise De Padrões De Movimentação Em Partidas De Tênis; Outros Conhecimentos De Manutenção Industrial (Especificar:...) - Aplicações De Sensoriamento Inteligente, Tecnologias Digitais, Sistemas De Análise De Grandes Quantidades De Dados E Inteligência Artificial Nas Atividades De Manutenção; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Fundamentos De Inteligência Artificial; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Em Serviços De Utilidade Pública (Especificar:...) – Sensoriamento, Redes E Inteligência Artificial Associados Aos Sistemas De Supervisão, Comando E Controle De Equipamentos De Geração De Energia Em Centrais Hidrelétricas; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Em Serviços De Utilidade Pública (Especificar:...) – Sensoriamento, Redes E Inteligência Artificial Associados Aos Sistemas De Supervisão, Comando E Controle De Equipamentos De Geração De Energia Em Centrais Hidrelétricas; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Em Serviços De Utilidade Pública (Especificar:...) – Sensoriamento, Redes E Inteligência Artificial Associados Aos Sistemas De Supervisão, Comando E Controle De Equipamentos De Geração De Energia Elétrica; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Em Serviços De Utilidade Pública (Especificar:...) – Sensoriamento, Redes E Inteligência Artificial Associados Aos Sistemas De Supervisão, Comando E Controle De Equipamentos De Geração De Energia Elétrica Em Centrais Termoeletricas; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Em Serviços De Utilidade Pública (Especificar:...) – Sensoriamento, Redes E Inteligência Artificial Associados Aos Sistemas De Supervisão, Comando E Controle De Equipamentos De Geração De Energia Elétrica Em Centrais Termonucleares; Outros Conhecimentos De

Tendências E Inovação Em Serviços De Utilidade Pública (Especificar:...) – Sensoriamento, Redes E Inteligência Artificial Associados Aos Sistemas De Supervisão, Comando E Controle De Sistemas Elétricos - Subestações; Outros Conhecimentos De Manutenção Industrial (Especificar:...) - Aplicações De Sensoriamento Inteligente, Tecnologias Digitais, Sistemas De Análise De Grandes Quantidades De Dados E Inteligência Artificial Nas Atividades De Manutenção; Outros Conhecimentos De Manutenção Veicular (Especificar:...) - Aplicações De Sensoriamento Inteligente, Tecnologias Digitais, Sistemas De Análise De Grandes Quantidades De Dados E Inteligência Artificial Nas Atividades De Manutenção Veicular; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Realidade Virtual; Outros Conhecimentos De Tecnologias Da Informação E Comunicação (Especificar:...) - Realidade Virtual; Outros Conhecimentos De Inovação E Otimização De Serviços Administrativos E Financeiros (Especificar:...) - Inovação Na Área De Segurança Do Trabalho - Uso De Tecnologia De Realidade Virtual Em Treinamentos; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Realidade Virtual 3d; Outros Conhecimentos De Robotização Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Métodos Especiais De Programação De Robôs: Por Sistemas Gráficos Interativos, Por Geração De Planos De Ação, Por Meio De Realidade Virtual, Outros; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Biotecnologia Aplicada Ao Tratamento De Água E Esgoto; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Biotecnologia Verde - Noções De Melhoramento Genético De Espécies Vegetais; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Noções De Biotecnologia Para Pecuária; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Noções De Biotecnologia Para Criação De Animais Domésticos; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Noções De Biotecnologia Para Avicultura; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Noções De Biotecnologia Para Cunicultura; Outros Conhecimentos De Tecnologias Estratégicas (Especificar:...) - Biotecnologia Verde: Cultivares De Algodão Com Melhoramento Genético E Híbridas; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Machine Learning (ML) - Aprendizado De Máquina; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas De Eletroeletrônica (Especificar:...) - Eletrônica Digital; Outros Conhecimentos De Automação Nos Processos De Produção (Especificar:...) - Noções De Tecnologia Microeletrônica Digital De Automação E Controle Aplicada No Tratamento De Águas, Efluentes E Resíduos Industriais; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas Referentes

A Instalações E Equipamentos (Especificar:...) - Tipos De Equipamentos Eletromecânicos Com Tecnologia Microeletrônica Digital De Automação E Controle Incorporada Da Estação De Tratamento De Água E Efluentes; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas Referentes A Instalações E Equipamentos (Especificar:...) - Tipos De Equipamentos Eletromecânicos Com Tecnologia Microeletrônica Digital De Automação E Controle Incorporada Associados Aos Fornos De Incineração; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas Referentes A Instalações E Equipamentos (Especificar:...) - Tipos De Equipamentos Eletromecânicos Com Tecnologia Microeletrônica Digital De Automação E Controle Incorporada Associados Aos Fornos De Incineração; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas De Eletroeletrônica (Especificar:...) - Eletrônica Digital; Outros Conhecimentos De Automação Nos Processos De Produção (Especificar:...) - Noções De Tecnologia Microeletrônica Digital De Automação E Controle Aplicada No Tratamento De Águas, Efluentes E Resíduos Industriais; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas Referentes A Instalações E Equipamentos (Especificar:...) - Tipos De Equipamentos Eletromecânicos Com Tecnologia Microeletrônica Digital De Automação E Controle Incorporada Da Estação De Tratamento De Água E Efluentes; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais E Aplicações Na Área Da Borracha: Mangueiras Alimentícias Atóxicas, Borracha Autorreparável, Robótica Mole, Formulações De Silicone Personalizadas, Design Customizado De Artigos Em Borracha, Outras; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Na Área Do Plástico: Hidrogel, Polímeros Biomiméticos, Pet-Verde, Bioplástico Comestível, Plástico Anti-Uv, Polímeros Inteligentes, Outros; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Redes Industriais; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Noções De Redes Industriais; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Fundamentos De Redes Industriais; Outros Conhecimentos De Automação Nos Processos De Produção (Especificar:...) - Redes Industriais Digitais De Comunicação De Dados; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas De Eletroeletrônica (Especificar:...) - Aplicação De Sensores, Redes Industriais De Comunicação E Computadores Para Controle Do Funcionamento E Auxílio À Manutenção Em Pontes Rolantes; Outros Conhecimentos De Informações Tecnológicas De Eletroeletrônica (Especificar:...) - Aplicação De Sensores, Redes Industriais De Comunicação E Computadores Para Controle Do Funcionamento E Auxílio À Manutenção Em Pórticos Rolantes; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) -

Fundamentos De Redes Industriais; Outros Conhecimentos De Ciência Da Computação (Especificar:...) - Noções De Redes Industriais; Outros Conhecimentos De Telecomunicações (Especificar:...) - Sistemas Digitais De Protocolos De Radioperação; Outros Conhecimentos De Telecomunicações (Especificar:...) - Sistemas Digitais De Protocolos De Radioperação.

Grupo II. Níveis 6 a 8 de conhecimento

Análise De Algoritmos E Complexidade De Computação; Análise De Dados; Automação Eletrônica De Processos Elétricos E Industriais; Banco De Dados; Biotecnologia; Engenharia De Software; Hardware; Informática; Informática Médica; Internet; Internet Das Coisas; Linguagens De Programação; Línguas Estrangeiras Modernas; Lógicas E Semântica De Programas; Materiais Avançados E Nanocompósitos; Nanotecnologia; Outros Elementos (Administração De Empresas) Gestão De Tecnologia E Inovação; Outros Elementos (Anatomia Patológica E Patologia Clínica) Manipulação De Imagens Digitais, Utilização De Programas Para Elaboração De Apresentações E De Processadores De Texto Para Publicações Científicas E Sessões Anatomoclínicas, Programação Linear, Não-Linear, Mista E Dinâmica; Sistemas De Informação; Sistemas De Telecomunicações; Software - Business Intelligence-Bi; Tecnologias Aditivas (Prototipagem 3d Ou Impressão 3d); Outros Elementos (Ciência Da Computação) Inteligência Artificial; Outros Elementos (Ciência Da Computação) Inteligência Artificial E Computacional; Outros Elementos (Ciência Da Computação) Realidade Virtual; Outros Elementos (Ciência De Alimentos) Biotecnologia Industrial; Outros Elementos (Ciência Da Computação) Machine Learning (MI) - Aprendizado De Máquina; Outros Elementos (Ciência Da Computação) Novos Paradigmas De Computação; Outros Elementos (Ciência E Tecnologia De Alimentos) Biotecnologia E Segurança Alimentar; Outros Elementos (Circuitos Elétricos, Magnéticos E Eletrônicos) Eletrônica Digital; Outros Elementos (Construção Civil) Novos Materiais De Construção; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Automação De Máquinas E Equipamentos Mecânicos Industriais; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Automação Industrial E Sistemas De Controle; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Circuitos Digitais; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Controladores Programáveis; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Desenho Técnico De Controle E Automação; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Dispositivos De Controle Analógico E Digital De Equipamentos E Processos; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Interfaces Homem-Máquina; Outros Elementos

(Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Manutenção De Dispositivos, Sistemas E Equipamentos De Controle E Automação; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Microprocessadores E Microcontroladores; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Normas Técnicas Para A Área De Controle E Automação; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Processadores Digitais De Sinais; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Projeto De Dispositivos, Sistemas E Equipamentos De Controle E Automação; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Redes Industriais; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Sistemas Ciberfísicos; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Sistemas De Controle E Automação; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Sistemas De Tempo Real; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Sistemas Digitais; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Sistemas Microeletromecânicos; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Testes De Dispositivos, Sistemas E Equipamentos De Controle E Automação; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Processadores Digitais De Sinais; Outros Elementos (Eletrônica Industrial, Sistemas E Controles Eletrônicos) Sistemas Digitais; Outros Elementos (Engenharia De Materiais E Metalúrgica) Tecnologia De Análises Microestruturais Dos Materiais; Outros Elementos (Engenharia De Materiais E Metalúrgica) Tendências Tecnológicas Na Área De Engenharia De Materiais E Metalúrgica; Outros Conhecimentos De Esporte (Especificar:..) - Novos Materiais Para Paramentação Do Jôquei E De Encilhamento; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais E Tecnologias Inteligentes Nas Demolições Em Edificações De Grande Porte; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Para A Indústria Têxtil; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Para Confecção De Colchões: Tecidos Inteligentes E Espumas Especiais E Tecnológicas; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Para Confecção De Velas Náuticas, Barracas E Toldos: Tecidos Tecnológicos E Materiais Poliméricos Laminados; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Para Confecção De Peças De Estofamento De Aeronaves:

Tecidos Inteligentes E Espumas Especiais E Tecnológicas; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Para Confeção De Estofados De Móveis: Tecidos Inteligentes E Espumas Especiais E Tecnológicas; Outros Conhecimentos De Tendências E Inovação Nos Processos De Produção Industrial (Especificar:...) - Novos Materiais Para Confeção De Peças De Tapeçaria Automotiva: Tecidos Inteligentes E Espumas Especiais E Tecnológicas.