

**INDÚSTRIA 4.0 E TRANSFORMAÇÃO DIGITAL: UMA DISCUSSÃO
CONCEITUAL, SOB PERSPECTIVA NEOSCHUMPETERIANA, QUE INCLUI
POLÍTICAS DE CT&I E *CATCH UP***

**INDUSTRY 4.0 AND DIGITAL TRANSFORMATION: A CONCEPTUAL
DISCUSSION, UNDER NEOSCHUMPETERIAN PERSPECTIVE, INCLUDING ST&I
AND CATCH UP POLICIES**

Leandro Pinheiro Cintra
FACE-UFMG
lpcintra@gmail.com

Renato da Costa Braga
UFMG
rhbra2014@gmail.com

Márcia Siqueira Rapini
CEDEPLAR-UFMG
msrapini@cedeplar.ufmg.br

Ulisses Pereira dos Santos
CEDEPLAR-UFMG
ulisses@cedeplar.ufmg.br

Allan Claudius Queiroz Barbosa
FACE-UFMG
allan@ufmg.br

Submissão: 09/01/2019

Aprovação: 09/12/2019

RESUMO

O ambiente atual exige entender a relevância da Ciência & Tecnologia como catalisadores da Inovação. Diante de avanços inovativos das (TICs), ganharam destaque a Indústria 4.0 (I4.0) e a Transformação Digital (TD) que contempla os termos *Big Data*, Internet das Coisas (*IoT*) e Inteligência Artificial (IA). O objetivo deste artigo é a discussão conceitual sobre (I4.0) e (TD) à luz do referencial teórico estabelecido sobre Revoluções, Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas, além de discutir como esses aspectos se relacionam a políticas de CT&I, *catch up* e mecanismos de monitoramento como a Pesquisa Industrial de Inovação Tecnológica (PINTEC), no contexto brasileiro. Para tanto, buscou-se de forma exploratória triangular evidências oriundas da teoria do campo e das seis edições PINTEC – IBGE. As principais sínteses apontaram que não há consenso sobre tecnologias relacionadas a (I4.0) e (TD) se constituírem como um novo paradigma dominante consolidado; há evidências de uma revolução tecnológica insurgente relacionada às novas *General Purpose Technologies*, entre

as quais é possível incluir tecnologias (I4.0) e (TD); no contexto brasileiro, essas tecnologias poderiam ser induzidas através de políticas voltadas a *catch up* através de áreas estratégicas. Sugere-se o desenvolvimento de instrumentos de monitoramento específico dessas tecnologias. Propõe-se a inclusão de novos temas/variáveis de investigação relacionados à (I4.0) e (TD) à metodologia da PINTEC – IBGE; e o P&D de instrumentos baseados em *big data*, *data analytics* e *artificial intelligence*, com potencial de produzir uma quarta geração de indicadores em economia da CT&I.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Transformação Digital, Inteligência Artificial, Políticas CT&I, *Catch up*, Pintec.

ABSTRACT

In the contemporary environment, Industry 4.0 (I4.0) and Digital Transformation (DT) related to the terms Big Data, Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) gained prominence. The aim of this paper is the conceptual discussion about (I4.0) and (DT) in the light of the theoretical framework established on Revolutions, Paradigms and Technological Trajectories. In addition to discussing how these aspects relate to Science, Technology and Innovation policies, catch up and monitoring mechanisms such as PINTEC. The syntheses show that there is no consensus on technologies related to (I4.0) and (DT) to constitute a new consolidated dominant paradigm; There is evidence of an insurgent technological revolution related to new General Purpose Technologies, including technologies (I4.0) and (DT); In the Brazilian context, these technologies could be induced through policies aimed at catching up through strategic areas. We suggest the development of specific monitoring tools for these new technologies. We propose the inclusion of new research themes / variables related to (I4.0) and (TD) to the PINTEC - IBGE methodology; and the R&D of big data, data analytics and artificial intelligence tools, with the potential to produce a fourth generation economics indicators.

Key-words: Industry 4.0, Digital Transformation, Artificial Intelligence, ST&I Policies, *Catch up*, Pintec.

1. INTRODUÇÃO

Entender o ambiente atual passa inicialmente pela compreensão do papel e importância da Ciência & Tecnologia como condicionante da Inovação. A inovação como fenômeno social e econômico mundial é considerada, sob uma abordagem schumpeteriana e neoschumpeteriana, motriz do desenvolvimento em um contexto capitalista, globalizado, competitivo, pautado pela volatilidade, incerteza, complexidade, ambiguidade, relevância do conhecimento e avanço das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). Nesse cenário o algoritmo emerge com o potencial de novo paradigma tecnológico que no ciberespaço expande a inteligência coletiva humana, e se destacam ferramentas preditivas baseadas em *big data*, *IoT*, *analytics* e *artificial intelligence*, elementos de uma Segunda Era das Máquinas, Terceira Onda ou Quarta Revolução Industrial, que exigem articulações tanto no âmbito dos estudos em Economia da CT&I quanto de práticas de educação, formação e gestão, adequadas aos novos e dinâmicos desafios. (ANGRAVE *et al.*, 2016; HARARI, 2016; HESS *et al.* 2016; LÉVY, 2004; RAPINI, SILVA & ALBUQUERQUE, 2017; RIBEIRO & ALBUQUERQUE, 2016; SCHWAB, 2016; TIDD & BESSANT, 2015; TIGRE, 2006).

Um dos possíveis recortes de observação e análise nesse contexto passa Indústria 4.0 e Quarta Revolução Industrial, conceitos que ganharam destaque a partir da Feira de Hannover em 2011 na qual o governo alemão apresentou estratégias de investimentos em tecnologias voltadas a “fábricas inteligentes”. Enquanto o primeiro conceito se refere a um conjunto tecnológico direcionado a produção, o segundo apresenta uma perspectiva composta por três tipos de tecnologias: biológica, digital e física. A categoria digital, que inclui *big data*, Internet das Coisas (*IoT*) e Inteligência Artificial (IA), é relacionada mais diretamente ao que se convencionou chamar de Transformação Digital, que influencia de forma significativa elementos organizacionais como cultura, estratégia, processos e estruturas, (SCHWAB, 2016; HESS *et al.*, 2016). Perspectivas que justificam os apontamentos de Júnior e Saltorato (2018) sobre o rápido avanço do interesse acadêmico, científico, empresarial e político em relação à Indústria 4.0 e Quarta Revolução Industrial. Os autores demonstram ainda que as estimativas de investimentos anuais da Alemanha em projetos relacionados a essa Indústria podem chegar a 40 bilhões de euros até 2020, 140 bilhões anuais em toda a Europa e 90 bilhões de dólares anuais nos EUA. Aspectos que ressaltam o caráter econômico, político e, especialmente, social dessa revolução percebida *a priori*, que vai além do tecnológico, pela previsão de impactos no PIB, investimentos, consumo, emprego e empregabilidade, comércio e inflação, com significativos desafios para a força de trabalho (BUHR, 2015; HECKLAU, 2016). Pontos corroborados em parte por Júnior e Saltorato (2018) ao localizarem, em estudos sobre efeitos da Indústria 4.0, os seguintes impactos específicos na organização do trabalho: o aumento do desemprego tecnológico em contrapartida a criação e/ou aumento de postos de trabalho qualificados; a necessidade de desenvolvimento de novas competências e habilidades; a maior interação entre homem e máquina; e as transformações nas relações socioprofissionais. E ainda, entre as conclusões, que há uma lacuna em relação a pesquisas em campo, sobre o tema, no contexto brasileiro (JÚNIOR & SALTORATO, 2018). São exemplos que encontram ressonância em articulações como de Albuquerque (2017, p.39-40), que aponta o crescimento da importância e sensibilidade do *mainstream* de estudos em Economia da Ciência e Tecnologia ao debate contemporâneo em torno das Revoluções Industriais ou Revoluções Tecnológicas.

Diante desse cenário este estudo busca discutir sobre as seguintes questões: a Indústria 4.0 e Transformação Digital se constituem como expressão de um novo paradigma tecnológico? E como esses aspectos se relacionam a políticas de CT&I, *catch up* e instrumentos de monitoramento e apoio ao planejamento como a PINTEC?

Desta forma, propõe-se discussão conceitual exploratória desses pontos à luz do referencial e produção teórica estabelecida sobre Revoluções, Paradigmas e Trajetórias Tecnológicas, sob perspectiva neoschumpeteriana, e também como esses aspectos se relacionam ao debate sobre políticas de CT&I, *catch up* e instrumentos como a PINTEC, no contexto brasileiro.

1.1. Percorso metodológico e limitações

Do ponto de vista metodológico, a partir do recorte conceitual exploratório estabelecido para discussão, visando dados e evidências secundárias para triangulação, o percurso trilhado passou pela revisão bibliográfica de trabalhos basilares de autores neoschumpeterianos, como Carlota Perez, Christopher Freeman, Luc Soete e Geovani Dosi. Nesse sentido, e nos demais, houve destaque às articulações de (ALBUQUERQUE 2016; 2017; 2018). Igualmente, realizou-se revisão e identificação de publicações relevantes no debate atual entre pares sobre os impactos da Indústria 4.0 e Transformação Digital, com destaques como Schwab, Buhr, Hess, Pan, Makridakis e Arbix. Buscaram-se também evidências quantitativas em fontes

como a PINTEC – IBGE¹, referentes aos anos 1998 a 2014², pesquisa que atingiu sua sexta edição em 2016, a mais recente disponível até a conclusão deste artigo. Essa trilha implica em limitações quanto às possibilidades de generalizações em função da abordagem escolhida, da falta de consenso no campo teórico e escassez de publicações voltadas à I4.0 e TD. Bem como pelo rápido avanço dessas novas tecnologias contraposto à indisponibilidade dos dados específicos nas seis edições da PINTEC e de dados atualizados da PINTEC – IBGE (2019) e outros instrumentos. Mesmo assim, espera-se que esse esforço de pesquisa possa trazer contribuições do ponto de vista acadêmico para melhor entendimento do recente e socialmente relevante fenômeno, pouco abordado no contexto nacional até o momento, e novos estudos pautados em dados primários.

Este trabalho, estruturalmente, inicia-se pela revisão que contempla os contextos, conceitos e articulações entre Indústria 4.0, Transformação Digital e inteligência artificial; na sequência o mesmo ocorre sobre as Políticas de CT&I e *catch up*. Posteriormente, promove-se a discussão em torno das relações entre essas tecnologias, o referencial teórico recortado e os dados da PINTEC. Encerra-se com as considerações finais.

2. INDÚSTRIA 4.0, TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

O contexto descrito anteriormente permite o olhar mais próximo para análise de um dos avanços tecnológicos contido no espectro do processo emergente apontado e descrito em (ALBUQUERQUE, 2016; 2017). Esse aspecto encontra ressonância também em Tigre (1997, p. 6-7) que afirma o respaldo literário econômico daquele período em relação à certificação que a microeletrônica seria pilar de um novo paradigma técnico e econômico. Afirmam também que Chris Freeman e Carlota Perez traziam evidências positivas da hipótese que essas inovações tinham amplitude de ação capaz de mudanças que, pela natureza radical, podem impactar a economia como um todo gerando transformações técnicas, mudanças nas firmas, em seus produtos e processos, bem como indústrias inéditas, constituindo-se em uma dinâmica prevalente ao longo de muitos anos.

Sob esses aspectos então, o campo associado ao uso de Inteligência Artificial, inserida no âmbito da Transformação Digital (TD) e relacionada à Indústria 4.0, se manifesta de forma disruptiva e demanda considerações à luz das articulações teóricas, práticas e indicadores estabelecidos até o momento, em Economia da Ciência e Tecnologia, a partir de um esforço analítico e crítico necessário aos pesquisadores do campo, como sugere Albuquerque (2017).

Para tanto, inicialmente de forma ampla, é necessário considerar o destaque recente dos conceitos de Indústria 4.0 e Quarta Revolução Industrial a partir da Feira de Hannover, em 2011, na qual o governo alemão apresentou estratégias de investimentos relacionadas às tecnologias voltadas a “fábricas inteligentes”. Esse apontamento, Schwab (2016), detalha que o primeiro conceito se refere a um conjunto tecnológico direcionado à produção, e o segundo apresenta uma perspectiva composta por três tipos de tecnologias: biológica, digital e física. A categoria digital, que inclui *Big Data*, *Internet of Things (IoT)* e *Artificial Intelligence (AI)*, é relacionada mais diretamente ao que se convencionou chamar de Transformação Digital, relacionada ao uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tangíveis através de equipamentos e sistemas, incluindo *mobile*, para análise preditiva através de *big data* e uso de algoritmos de inteligência artificial que se caracterizam por influenciar de forma significativa

¹ O detalhamento metodológico, como conceitos, âmbito, classificações, variáveis, estratégias, amostra e coleta de dados, estão disponíveis em Pintec 2014 (IBGE, 2016), Notas técnicas, p. 12-35.

² Tabulações dos dados brutos disponíveis em: <http://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/PINTEC/tabelas>

rearranjos organizacionais sobre cultura, estratégia, processos e estruturas, (SCHWAB, 2016; HESS *et al.*, 2016). Júnior e Saltorato (2018) mostram que foi rápido o avanço do interesse acadêmico, científico, empresarial e político em relação à Indústria 4.0 e Quarta Revolução Industrial. Os autores demonstram ainda que as estimativas de investimentos anuais da Alemanha em projetos relacionados a essas tecnologias podem chegar a 40 bilhões de euros até 2020, 140 bilhões anuais em toda a Europa e 90 bilhões de dólares anuais nos EUA. Aspectos que ressaltam o caráter econômico, político e, especialmente, social dessa revolução percebida *a priori*, que vai além do tecnológico, pela previsão de impactos no PIB, investimentos, consumo, emprego e empregabilidade, comércio e inflação, com significativos desafios para a força de trabalho (BUHR, 2015; SCHWAB, 2016; HECKLAU, 2016).

Essa descrição permite então, de forma específica, abordar características e influências do conceito de Inteligência Artificial (IA), cuja base de desenvolvimento está pautada sobre a estrutura matemática dos algoritmos. Harari (2016, p.77), afirma que o conceito de algoritmo, um conjunto metódico de passos para realizar cálculos, resolver problemas e tomada de decisões, dominará o século XXI, já que sob uma perspectiva dataísta se estabelece como dogma científico por meio do qual é possível explicar e imitar o funcionamento dos sistemas naturais, inclusive os orgânicos, mesmo que com materiais inorgânicos. Harari (2016, p.273-286) argumenta que algoritmos computacionais são a base dos avanços transformadores em automação, biotecnologia, inteligência e superinteligência artificial.

Nesse sentido, em Nilsson (2010) e Russell e Norvig (2013) se tem acesso a apresentação e detalhamento de um campo recente em ciências e engenharia, vasto, multidisciplinar, subdividido e denominado, em 1956, Inteligência Artificial (IA). Embora o primeiro trabalho ocorrido em 1943, com McCulloch e Pitts, o surgimento da (IA) é considerado logo após a Segunda Guerra Mundial, no seminário de Dartmouth, com McCarthy, Minsky, Shannon e Rochester, em 1956. Nos primeiros 20 anos nomes do MIT, da CMU, de Stanford e da IBM, como Trenchard More, Arthur Samuel, Ray Solomonoff, Oliver Selfridge, Allen Herbert e Simon Newell, seus alunos e colegas, dominaram o campo. Campo que se desenvolveu com contribuições da filosofia, matemática, economia, neurociência, psicologia, engenharia de computadores, teoria de controle da cibernética e linguística, com o objetivo de não somente entender o processo de pensamento, mas também construir entidades inteligentes. Alan Turing (1912-1954) é considerado um expoente nesse processo.

Russell e Norvig (2013), que delimitam (IA) como o estudo de agentes que recebem percepções do ambiente e executam ações, assinalam que as definições e pesquisas em (IA) estão relacionadas aos processos de pensamento/raciocínio e de comportamento. Já seu sucesso é medido em relação à fidelidade ao desempenho humano e em relação à racionalidade. Mostram também que esta indústria bilionária baseada em algoritmos avançou no uso de mega dados e apresenta seu estado da arte através de aplicações autônomas em veículos, logística, robótica, jogos e tradução. Ao referir o desafio da criação de uma (IA) que consiga passar em um teste de emprego em vez de no teste de Turing, os autores focalizam um potencial de futuro com altas taxas de desemprego, pessoas com a gerência de seus próprios quadros de trabalhadores robôs, assim como impactos no tempo disponível para o trabalho, na responsabilização, no sentido de identidade e na educação. Podemos encontrar visões próximas a Nilsson (2010) em Frey e Osborne (2013; 2015), Levy e Murnane (2013), Harari (2016), AI100 Stanford (2016).

Esses pontos são corroborados em parte por Júnior e Saltorato (2018) ao localizarem, em estudos recentes sobre efeitos do fenômeno (Indústria 4.0) relacionado à Transformação Digital, as seguintes perspectivas de impactos específicos na Organização do Trabalho (OT):

o aumento do desemprego tecnológico em contrapartida a criação e/ou aumento de postos de trabalho qualificados; a necessidade de desenvolvimento de novas competências e habilidades; a maior interação entre homem e máquina; e as transformações nas relações socioprofissionais. E ainda, entre as conclusões, que há uma lacuna em relação às pesquisas em campo sobre o tema, com autoria e contexto brasileiros (JÚNIOR & SALTORATO, 2018).

No contexto da Transformação Digital descrito anteriormente, ferramentas que lidam com geração e tratamento de dados (relacionadas à *IoT*, *Analytics* e *Big Data*) como Inteligência Artificial e Computação Cognitiva demonstram crescimento não comparável ao histórico do campo até então (FRANCISCO, KUGLER & LARIEIRA, 2017). Em Pan (2016) e Makridakis (2017), há demonstração que a relação da Inteligência Artificial com as necessidades da indústria se caracteriza por interação que levou a importantes transformações na forma como os serviços são entregues aos mercados consumidores. Sob esse aspecto, parte desses estudos aponta o uso de sistemas que podem conduzir processos de comunicação mútua com os clientes através de compreensão e linguagem natural com presença de elementos emocionais para, por exemplo, traduções de línguas estrangeiras e veículos autônomos. Essas soluções de caráter cognitivo, como o autômato Xiaobing da Microsoft e o Baidu, que conversam, são capazes de decisões a partir de programação através de algoritmos complexos e também são correlatos a exemplos que demonstram níveis de aprendizado contínuo. Esses aspectos estão relacionados aos termos *machinelearning* e *deeplearning*. Nesse sentido, Mendonça *et al.* (2018), apresentam evidências locais de percepção de relevância e avanço dessas novas tecnologias. Também demonstram que as firmas no processo de travessia para a transformação digital plena desenvolvem competências para atingir os níveis mais elevados de maturidade digital, no âmbito de suas articulações entre Transformação Digital e Capacidades Dinâmicas no contexto brasileiro, apoiados em Hess *et al.* (2016). Nesse sentido, os autores apontam que as organizações bem sucedidas nesse objetivo são quatro vezes mais propensas a dar condições aos seus funcionários de desenvolvimento de competências individuais que colaborem a essa maturidade. Os autores destacam ainda que a trajetória rumo ao objetivo de consolidação a Transformação Digital demanda orientação e inserção a partir da definição estratégica das firmas, tanto em nível operacional/funcional quanto como conceito integrador das ações de gestão das organizações (coordenação, priorização e implementação), ou seja, precisa ser alinhada com uma pauta voltada ao digital.

De forma complementar aos avanços apontados em Makridakis (2017), Pan (2016) e Schwab (2016), Mendonça *et al.* (2018) mostram que o uso de Inteligência Artificial (IA), percebido em estágio 2.0, constitui-se como parte de uma revolução com impactos amplos sobre empresas, empregos e sociedade. Mendonça *et al.* (2018) colocam como tendências emergentes: *Big data* baseado em IA (transformação de *big data* em conhecimento); *Internet Crowd Intelligence* (usando para trabalhar com alocação de tarefas, fluxos de trabalho complexos e ecossistemas de resolução de problemas); *Cross-media Intelligence* (uma característica importante da inteligência humana envolve a utilização abrangente de informações obtidas de várias formas de percepção, incluindo visão, linguagem e senso auditivo, para permitir reconhecimento, inferência, design, criação e previsão); *Human-machinehybrid-augmented intelligence* (são sistemas de inteligência híbrida são formados pela cooperação entre computador e humanos, de modo a formar uma inteligência aumentada); e *Autonomous-intelligentsystems* que trata do desenvolvimento de robôs autônomos e veículos autônomos.

Assim, esses são alguns dos aspectos que demonstram transformações no âmbito da cena científica tecnológica mundial que corroboram colocações originadas em (ALBUQUERQUE 2018; 2017; 2016). O autor descreve esse contexto e a possível influência de inovações que podem pautar inovações radicais como em torno de energias renováveis e novas frentes relacionadas às (TIC) como a *World Wide Web (WWW)*, *big data*, saúde e nano materiais, representativas de uma revolução tecnológica insurgente, potencial nova fase do capitalismo global, marcada de forma idiossincrática, Albuquerque (2018), pela concomitância inter-relacionada de novas *General Purpose Technologies (GPTs)*. A esses aspectos também acrescenta que se somam aos desafios e oportunidades contemporâneos relacionados ao aumento da expectativa de vida, produtividade e qualidade do trabalho dos indivíduos, às variações climáticas na terra, e às políticas de ciência e tecnologia (ALBUQUERQUE 2018).

3. POLÍTICAS DE CT&I E *CATCH UP*

Consonante com Albuquerque (2018), em Avellar e Bittencourt (2017) fica nítido que sob perspectiva evolucionista, os investimentos em Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) são um determinante significativo ao crescimento e competitividade estratégica das firmas e países. Os autores demonstram como a dinâmica complexa de um espaço capitalista e o ritmo das revoluções e de seus impactos estabelecem um ambiente pautado por riscos e incerteza em níveis consideráveis, que determinam o papel do Estado no processo de desenvolvimento de CT&I. Desta forma decisões de investimentos vultosos em inovação, de alto risco e no longo prazo, tem o Estado como relevante agente de financiamento e indução dessas atividades, bem como apoiador e articulador das interações entre os demais componentes dos sistemas de inovação (empresas, universidades, instituições). Sua atuação então, tanto do ponto de vista da oferta quanto da demanda, passa por perspectiva e articulações sistêmicas através das quais as políticas de inovação visam expandir ações e investimentos em P&D das firmas; implementar e/ou melhorar a infraestrutura tecnológica; preparar recursos humanos, corroborado também em Rapini (2018) ao relacionar *catch up* com aportes em desenvolvimento de pessoal alocado em atividades de CT&I; e fomentar as interações entre os agentes do Sistema Nacional de Inovação (SNI), considerando as idiossincrasias dos subsistemas relacionados. Esses aspectos destacam o papel do Estado no processo de identificação de espaços de alocação estratégica de recursos e/ou incentivos e indução do desenvolvimento tecnológico, através de instrumentos como incentivos fiscais a P&D; fornecimento de crédito e/ou capital de risco; demandas/encomendas de soluções tecnológicas e direcionamento do orçamento de compra (AVELLAR e BITTENCOURT, 2017). No entanto, Cimini *et al.* (2018) alertam para o fato que embora exista reconhecimento da importância do Estado em relação ao *catch up* de países em processo de desenvolvimento tardio, não existe consenso sobre como realizar as ações nessa direção, especialmente no que tange ao dilema que põe em cheque o potencial de os projetos governamentais terem a capacidade de transformar a estrutura econômica dos países. Corroborando a percepção de importância do Estado, especialmente no que tange aos Bancos de Desenvolvimento (BD), Santos, L. (2018) afirma que a análise dos casos de industrialização tardia em países pré-industriais aponta a relevância das estratégias de investimentos rápidos e diversificados, bem como da centralização de capitais sob controle dos governos e sistemas financeiros, em fase monopolista, fundamentais à industrialização e *catch up* dessas nações. São elementos que contradizem o mito em torno da prevalência do setor privado sobre o Estado em relação à capacidade de gerar mercados através da competência empreendedora (MAZZUCATO, 2011). Ponto que justifica os históricos de países como Alemanha, Japão e Coreia do Sul como utilitários de políticas industriais e de inovação como estratégia nacional capaz de conduzir a uma situação de *catch up* (AVELLAR & BITTENCOURT, 2017).

Os estudos relacionados ao desempenho desses países passam necessariamente pelas contribuições de Perez e Soete (1988) e suas articulações comparativas entre Europa, EUA, Japão e Coreia do Sul. Apoiados na teoria da difusão (Metcalfe), percebida pelos mesmos como importante ao entendimento do desenvolvimento industrial e crescimento econômico, analisam as condições em função das quais pode ocorrer o que chamaram de recuperação e imitação tecnológica. Desta forma os autores identificam, sob uma perspectiva inicialmente estática, como aspectos de uma firma impactam os custos reais de desenvolvimento, imitação ou compra de tecnologia. Posteriormente, voltam-se à dinâmica evolutiva relacionada à composição e variação dos custos, e também sua importância como defesa aos entrantes. Essa abordagem permite então o foco na dinâmica sobre a relação entre tecnologias em sistemas complexos e mudanças nos paradigmas tecnoeconômicos pautadas por descontinuidades radicais ao longo do processo evolutivo tecnológico. Esse estudo, entre outros, colabora de forma radical para as pesquisas do campo como em Libânio (2018), que aponta a importância do *catch up* como componente alternativo do desenvolvimento dos países de industrialização tardia através, por exemplo, da aquisição tecnológica por imitação (com custo relativo menor); *learning by doing*; engenharia reversa; e importação de bens de capital (tecnologias). Bem como sobre o vínculo desses com idiosincrasias do aparato de produção de cada país (região), o que impõe necessidades e dinâmicas igualmente únicas para viabilização do desenvolvimento tecnológico no longo prazo (LIBÂNIO, 2018).

Sob a colocação desse ponto, pode-se estabelecer diálogo complementar com Santos, U. (2018, p. 394) que demonstra a importância do desenvolvimento dos Sistemas de Inovação (SI) em economias que atingiram *catch up* completo como Coreia do Sul e Taiwan, comparado às que não atingiram, bem como do seu condicionamento ao caráter e aos objetivos da política industrial escolhidas regionalmente. O autor aponta ainda, a partir de referências do campo, que em casos de sucesso estudados se destacam aspectos como: incentivo da indústria na região; fomento às parcerias e investimentos externos; políticas direcionadas a setores com tecnologias estratégicas; e indução ao P&D das empresas. Estes são centralmente caracterizados pela relação entre ciclo tecnológico; industrialização; e oportunidades de *catch up*. Santos, U. (2018, p. 395), especificamente em relação à Coreia do Sul e Taiwan, destaca a importância de suas políticas voltadas ao segmento de tecnologia, arriscado pela fase de difusão, porém, oferecendo menor distância em relação aos líderes, bem como oportunidade de emparelhamento acelerado se cumprido o potencial de aporte em competências necessárias e especialmente nos sistemas de inovação (SI). São aspectos que também corroboram o alerta de Albuquerque (2018) sobre a necessária atenção a diferenças relativas às possibilidades de *catch up*, comparativamente, entre o entorno da virada do século XIX e a última fase do século XX. Um dos aspectos, pela emergência supracitada de novas (GPTs), que podem justificar a relevância atual de Perez e Soete (1988) ao apontarem que as revoluções tecnológicas, no centro, abrem “janelas de oportunidade” aos países que demandam movimento de *catch up* (ALBUQUERQUE, 2018, p. 415).

Ainda sobre a importância do entendimento dessas diferenças, é pertinente apontar o papel e relevância da construção de indicadores estatísticos que forneçam “frames” da dinâmica de inovação das regiões. Instrumentos orientados a esse objetivo levam a maior entendimento e permitem monitorar o processo evolutivo dos indicadores ao longo dos anos. Suas sínteses e resultados servem, por exemplo, às empresas para análise dos mercados, pesquisadores e estudiosos acadêmicos dos setores da economia e articulações teóricas, com apoio aos governos em definição e avaliação de políticas de indução à CT&I, em âmbitos nacionais e regionais. Nesse sentido, especial atenção pode ser conferida às proposições de Godinho

(2005), com medida e avaliação de indicadores de Ciência e Tecnologia, da Inovação e do Conhecimento, sob um viés econômico, social e político.

A evolução das estatísticas de C&T, inovação e conhecimento demonstrada por Godinho (2005) aponta contribuições como OCDE - Manual de Frascati (1963), Derek de SollaPrice (1965, 1976), Kleinknecht (1996), SPRU da Universidade de Sussex, OECD – Manual de Oslo (1992), Eurostat - (CIS – *Community Innovation Survey*) e Lundvall (1992) como marcos que estabeleceram as características dos indicadores de primeira, segunda e de terceira geração. Sob esse aspecto, o autor coloca que os de terceira (que de forma sistêmica contém os anteriores) se destacam pela busca de captura do movimento dinâmico dos atores e mercados produtivos e seus recursos, constituintes da economia, ao incluir aspectos como: trabalho, capital e conhecimento; instituições e condicionantes dos comportamentos dos indivíduos e organizações; e a capacidade de aprendizagem e acumulação de conhecimento auto sustentada do sistema. Aspectos relacionados à definição de economia do conhecimento e parâmetro para políticas e estabelecimento de outros métodos estatísticos (GODINHO, 2005).

4. RELAÇÃO COM POLÍTICAS DE CT&I E COM O POTENCIAL DE *CATCH UP*

A análise da produção do campo mostra maior concordância sobre a importância das políticas governamentais para o desenvolvimento de Ciência Tecnologia e Inovação, tanto em economias do centro quanto da periferia. Aspectos que são reforçados pelos apontamentos contemporâneos de Júnior e Saltorato (2018) de planejamento e ações integradas de indução e incentivo como o modelo de planejamento estratégico alemão voltado ao desenvolvimento da Indústria 4.0, com previsão de 40 bilhões de euros investidos até 2020, bem como dos EUA em 2011 (*Advanced Manufacturing Partnership – AMP*), com investimentos anuais de 90 bilhões de dólares, da China em 2015 (*Made in China 2025*), da Coreia do Sul (*Korea Advanced Manufacturing System – KAMS*), ou os 140 bilhões anuais (ao todo) investidos pela (UE). Aspectos ressonantes com Arbix *et al.* (2018), relacionado à China e Alemanha.

Essa influência do Estado, no que tange aos países periféricos caracterizados pela industrialização tardia, também tem importância e relação com as janelas de oportunidade de *catch up* (emparelhamento) desses com as economias líderes do centro, através do desenvolvimento tecnológico. Nesses processos a imitação tem papel relevante e pode permitir maior velocidade e custos reduzidos de aproximação especialmente pelo segmento tecnológico. Como também se mostram importantes aspectos relacionados ao sucesso de empreitadas deste tipo, como: a escolha de segmentos promissores, incentivos e financiamentos, sistema financeiro e bancos de desenvolvimento, infraestrutura e apoio aos sistemas nacionais de inovação, fomento à interação entre os agentes e subsistemas (empresa, universidade, instituições, governo), a atenção às diferentes vocações, o alinhamento com trajetórias tecnológicas regionais, atenção às diferenças sobre condições locais e históricas, entre outras. Porém, à revelia do reconhecimento sobre essas importâncias, Cimini *et al.* (2018) alertam ao desafio de ações e condução do processo de *catch up*, especialmente no que tange ao dilema que põe em xeque o potencial de os projetos governamentais terem a capacidade de transformar a estrutura econômica dos países.

A partir dessas perspectivas a crescente relevância da Indústria 4.0 e da Transformação Digital neste artigo posicionadas em relação às novas *General Purpose Technologies (GPTs)*, tidas como manifestação da emergente revolução tecnológica e potencial nova fase do

capitalismo global conforme citações e descrições supracitadas, podem ser parte de uma janela de oportunidades a países em desenvolvimento tardio

Visto dessa forma, poderiam se constituir como foco de investimento estratégico no contexto brasileiro, especialmente em decorrência de estudos que apontam as vantagens de processos de *catch up* através de segmentos de tecnologias ainda em fase de difusão. Como descrito por Santos, U. (2018) em torno dos casos Coreia do Sul e Taiwan e da correlação com o caso Brasil, guardadas as devidas diferenças regionais. Diferenças essas que também foram estudadas e demonstradas em Albuquerque (1999), a partir de indicadores brasileiros como taxa de analfabetismo, escolaridade, interação e incentivo ao sistema nacional de inovação. Esses indicadores foram observados em relação aos dos líderes asiáticos e oferecem evidências das condições de necessidade e de dificuldade da condução de um processo de *catch up* de forma consistente, o que se constitui como mais um dos desafios para o Brasil, especialmente pela necessidade de perspectiva, planejamento e ações sistêmicas relacionadas à CT&I, em processos desta natureza.

A possibilidade de foco nacional em oportunidades específicas da Indústria 4.0, diretamente relacionada à produção industrial exemplificada por fábricas inteligentes interligadas que usam robótica e Inteligência Artificial (IA), bem como da Transformação Digital, que inclui *Big Data*, Internet das Coisas (*IoT*) e Inteligência Artificial (IA), também pode encontrar respaldo e correlação na proposição de reorientação da economia e da indústria brasileira como escolha deliberada de um novo modelo de desenvolvimento em (ALBUQUERQUE, 2018, p. 420). Para o autor esse movimento de reorientação econômica pode ser tangível em função de uma agenda composta por cinco áreas centrais coerentes e estratégicas de investimento potencial do Brasil na direção de um “*up grade*” tecnológico: biotecnologia, nanotecnologia, energia solar, *big data* e robótica. A análise dessa perspectiva permite observar que as duas últimas áreas dessa agenda podem ser relacionadas aos recortes específicos da Indústria 4.0, Transformação Digital e objetivos deste artigo. Destaca-se que esses, de forma convergente, também se relacionam às duas primeiras áreas dessa agenda, biotecnologia e nanotecnologia, como pode ser observado em IEL (2018, p. 93). Esse estudo aponta a caracterização de confluências inerentes entre bioinformática, inteligência artificial, *big data*, nanotecnologia e medicina regenerativa, com exemplo de técnicas avançadas de imagem, diagnósticos e análises preditivas, apoiados em softwares com algoritmos complexos e aprendizado de máquina. Aspectos que impactam e transformam as indústrias de saúde, cada vez mais pautadas pelos conceitos de medicina personalizada ou de precisão, pela considerável redução dos custos, economia de tempo e recursos.

Esse recorte, porém, exige e exigirá de forma recorrente a atenção sobre limitações e desafios locais. Como demonstram diagnósticos relacionados ao Projeto Indústria 2027, IEL NC (2018), que constata a prevalência de uma realidade mais próxima do que se poderia chamar de indústria 2.0, se comparada com as políticas e ações como as dos EUA (*National Strategic for Advanced Manufacturing*), Alemanha (*Industrie 4.0, High-Tech Strategy, New High-Tech Strategy*), China (*Made in China 2025*), Japão (“sociedade superinteligente” ou “Sociedade 5.0”), Reino Unido (*High Value Manufacturing Catapult*), França (*Nouvelle France Industrielle e Industrie du Futu*), Coreia do Sul (*IIM 3.0*) e Estônia (e-GOV). Segundo o estudo, mesmo diante de evidentes oportunidades o Brasil ainda não construiu consenso em torno de uma visão e uma estratégia de longo prazo, o que destaca o aumento de risco e necessidade de urgência (IELNC, 2018, p.213).

A importância desses dados encontra ressonância com relatório publicado pela CNI (2018), que identificou em grandes indústrias (mais de 250 funcionários), que 73% dessas empresas utilizam tecnologias relacionadas à (I4.0), mesmo que em estágio inicial. Um aumento de 10 pontos percentuais comparado com resultados de 2016. Destacaram-se, automação digital com sensores para controle de processo (46%) e sistemas integrados de engenharia (37%). Resultados especificamente relacionados a *big data* (21%), *IoT* (11%) e Inteligência artificial (9%) se mostraram igualmente presentes, embora com valores comparativos menores, decorrentes do estágio inicial no qual esse recorte de pesquisa se encontra. Outro aspecto relevante é que 48% delas declaram intenção de investir no curto prazo nas tecnologias digitais para aumentar o processo de produção e melhorar a gestão dos negócios, embora priorizem tecnologias digitais para aumentar a eficiência do processo de produção e melhorar a gestão dos negócios, em especial a automação digital com sensores para controle de processos. Outra informação relevante também é que começam a se mover para incorporar tecnologias digitais para além do processo de produção, como tecnologias aplicadas em desenvolvimento de produto e em produtos e modelos de negócio.

5. RELAÇÃO COM INSTRUMENTOS DE MONITORAMENTO COMO A PINTEC

As citações anteriores permitem discutir a necessidade de instrumentos de monitoramento contínuo relacionados à dinâmica da Indústria 4.0 e Transformação Digital no país. Os mesmos podem gerar indicadores dessas ações inovadoras, apoiar empresas e o planejamento e implementação de políticas voltadas a CT&I, especialmente em setores estratégicos. Como um exemplo de *benchmark* no exterior, entre outros, pode ser citado o *Industry 4.0*, preparado em 2016 pelo *Policy Department A* para o *ITRE Committee, European Parliament*. Já no contexto brasileiro, guardadas as diferenças, o Projeto Indústria 2027 e o relatório da CNI sobre a Indústria 4.0 (CNI, 2018), supracitado.

O Projeto Indústria 2027, publicado em IEL NC (2018), é fruto de uma parceria entre IEL, UFRJ e o Instituto de Economia da UNICAMP, e tem entre seus objetivos investigar tendências, impactos, riscos e oportunidades relacionadas às tecnologias disruptivas e ao contexto e indústria brasileiros. Com isso, busca viabilizar e agir na realização do planejamento estratégico das empresas e de subsídios para políticas públicas. Desta forma, foca na avaliação sobre como o progresso técnico impacta os modelos de negócio, os padrões de concorrência e as estruturas de mercado na indústria. É estruturado a partir do estudo de oito *clusters* tecnológicos: inteligência artificial, *big data*, computação em nuvem; *IoT* e seus respectivos sistemas e equipamentos; manufatura avançada; redes de comunicação; nanotecnologias; biotecnologias; materiais; armazenamento de energia. Entre os dez sistemas produtivos selecionados estão: TICs e sistemas e equipamentos de telecomunicações, microeletrônica e software. Sobre estes, o estudo destaca a convergência destas tecnologias (como plataformas integradas de softwares, sistemas e equipamentos para produtos e serviços digitais em Internet), em camadas, e sua relação com *big data* e *data analytics*, *machinelearning*, inteligência artificial e robôs, entre outros, e seu impacto sobre modelos de negócios e agentes econômicos, (IEL NC, 2018, p.73). Entre os diversos levantamentos e resultados, há importantes estimativas de impacto, que evidenciam a relevância dessas tecnologias.

Também, no contexto brasileiro, Silva e Furtado (2017) ressaltam o exemplo e a importância da Pesquisa de Inovação (PINTEC), mesmo com limitações, para o debate sobre inovação, com base em acompanhamento de indicadores. Nesse sentido, os elementos oferecidos pela mesma corroboram aspectos teóricos dessa discussão, especialmente através de apontamentos

de autores como Eduardo Albuquerque, desde 1999, sobre o contexto brasileiro comparado aos países líderes no centro e também aos periféricos asiáticos que obtiveram êxito em processos de *catch up*.

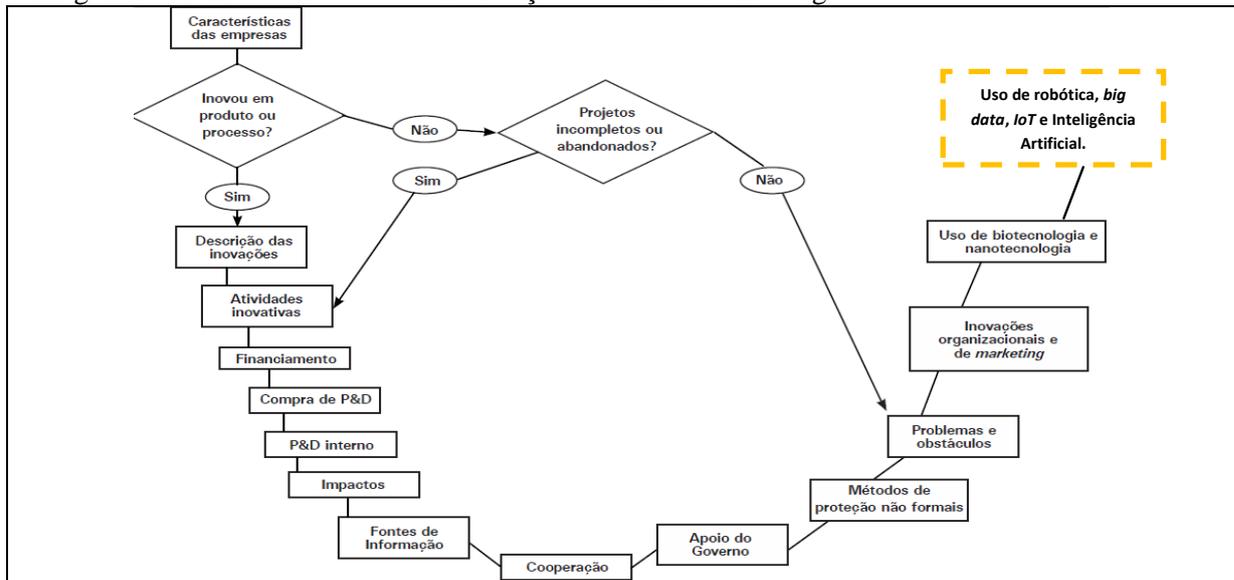
A PINTEC é conduzida pelo IBGE, em parceria com o Ministério da CT&I e com a Finep. Suas seis edições³ (2002; 2005; 2007; 2010; 2013; 2016) abordaram os triênios 1998-2000; 2001-2003; 2003-2005; 2006-2008; 2009-2011; 2012-2014. É um estudo de corte transversal, por triênio, que se articula com as pesquisas anuais do IBGE, na busca da construção de indicadores em âmbitos setorial, nacional e regional. Os dados são coletados através de contatos via *call center*, com foco nas atividades de inovação em amostra de empresas brasileiras do setor de indústria, e de indicadores nacionais das atividades de inovação nas empresas dos setores de eletricidade e gás, e de serviços selecionados, composto por: edição e gravação e edição de música; telecomunicações; atividades dos serviços de tecnologia da informação; tratamento de dados, hospedagem na Internet e outras atividades relacionadas; serviços de arquitetura e engenharia, testes e análises técnicas; e pesquisa e desenvolvimento (IBGE, 2016). Para tanto, do ponto de vista dos conceitos e do método, a PINTEC foi estruturada dentro de um padrão considerado equivalente aos internacionais, e parte do seu volume bruto e específico de dados para análise pode ser acessado em (<http://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/PINTEC/tabelas>), enquanto que o detalhamento da metodologia, em Pintec 2014 (IBGE, 2016), Notas técnicas, p. 12-35.

A PINTEC, mesmo com seu consolidado reconhecimento no contexto nacional, não faz abordagem específica sobre as tecnologias objeto do recorte deste artigo. No entanto, como relevante e consistente fonte de informações que permite estudos sobre a inovação no Brasil, com base em evidências, certamente seu processo evolutivo demandará na pauta de sua revisão metodológica, em algum momento, a inclusão explícita das tecnologias relacionadas à (I4.0) e (TD), como novos temas/variáveis a abordar/investigar. Isso, de forma similar à inserção dos serviços intensivos em conhecimento, a partir do ano de 2005, e a presença dos temas biotecnologia e nanotecnologia, entendidos como tecnologias emergentes relevantes às empresas e à formulação de políticas e ações voltadas à inovação (IBGE, 2016). Nesse sentido, observa-se relevância da inteligência artificial reconhecida nos objetivos estratégicos 10 e 13 da Estratégia Geral para TICs do IBGE - 2019-2020, páginas 12 e 13. O que pode corroborar o tema de forma explícita, também, na PNAD Contínua TIC – IBGE.

Destacam-se neste ponto que biotecnologia e nanotecnologia são também as duas primeiras áreas da agenda de investimentos estratégicos sugeridos por Albuquerque (2018, p. 420) e também estão inclusas entre os oito *clusters* de tecnologias elencados em IEL NC (2018) com potencial de impacto disruptivo na Indústria. Essa confluência, explicada em IEL NC (2018, p. 14) como inovações disruptivas combinadas e sinérgicas, que geram resultados e expansão a partir de avanços e queda dos custos de forma cruzada entre os oito *clusters* tecnológicos, juntamente com outras duas áreas da agenda de Albuquerque (2018), *big data* e robótica, supracitadas, motiva-nos neste ponto da discussão a descrever uma proposta de inclusão de novas variáveis de investigação, aparentemente inevitáveis, relacionadas à (I4.0) e (TD) na Pesquisa de Inovação do IBGE. A conceituação e posicionamento das mesmas nesse fluxo metodológico pode também servir de base para o estabelecimento de parâmetros úteis à escolha e enquadramento de casos voltados a comparações teórico-empíricas. Assim, a seguir propomos a inserção (caixa pontilhada) dos seguintes temas, no fluxo metodológico da PINTEC 2014 (imagem 1): **uso de robótica, big data, IoT e inteligência artificial.**

³ Até a conclusão deste artigo, não foi publicada a sétima edição, IBGE 2019, Pintec triênio 2015-2017.

Imagem 1 – Temas abordados e conceituação das variáveis investigadas



Fonte: Elaborado pelos autores a partir de IBGE (2016) – Pesquisa de inovação 2014 – Notas técnicas.

Embora a PINTEC não contenha abordagem específica sobre tecnologias relacionadas à (I4.0) e (TD), há informações relacionadas às Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), onde estão alguns dos serviços intensivos em conhecimento, inclusive a partir do ano de 2005. Na pesquisa, a classificação 62 (atividades dos serviços de tecnologia da informação), com base na Classificação Nacional de Atividades Econômicas - CNAE 2.0. A mesma é dividida em: atividades dos serviços de tecnologia da informação; desenvolvimento de software sob encomenda; desenvolvimento de software customizável; desenvolvimento de software não customizável; outros serviços de tecnologia da informação. Desta forma, esses aspectos contêm um recorte que **pode fornecer indícios, mesmo que indiretos**, de movimentos com potencial de conter tecnologias associadas ao uso de robótica, *big data*, *IoT* e inteligência artificial, desde que no formato de *software*, necessários a estas, ou seja, uma combinação sinérgica de tecnologias disruptivas como apontado em IEL NC (2018). A relevância dos *softwares* no âmbito das TIC e dos indicadores da inovação em serviços intensivos em conhecimento, propostos na PINTEC, é corroborada em Pinheiro (2011) e Pinheiro e Tigre (2015). Assim, a análise desses elementos pode apontar indícios e tendências ou apoiar vocações e relevância dessas tecnologias para o país. Bem como justificar linhas de investimento estratégico voltados ao emparelhamento, como discutido anteriormente. Pode também servir de base para a ampliação ou inclusão de novos temas à PINTEC.

Desta forma, uma breve análise do esforço inovativo em torno de alguns dados da PINTEC referentes às atividades de serviços de tecnologia da informação, selecionados entre os “Intensivos em Conhecimento”, nas empresas inovadoras, permite o exercício exploratório do potencial descrito anteriormente. Segundo IBGE (2016), em Serviços, segmentos considerados como “intensivos em conhecimento” foram destaque como inovadores em produto ou processo na edição de 2014: pesquisa e desenvolvimento (90,0%), desenvolvimento de software sob encomenda (72,1%), desenvolvimento de software não customizável (43,8%) e desenvolvimento de software customizável (41,3%). Entre essas quatro atividades, três se enquadram na classificação 62 do CNAE e tem relação direta com *software*. A partir da constatação dessa relevância, podem ser selecionadas para observação

comparativa com a PINTEC de 2011, visto que as edições anteriores não tinham esta estratificação, como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 –atividades CNAE 62– Seleccionadas

ATIVIDADES/ANO	2000	2003	2005	2008	2011	2014
Atividade dos serviços de tecnologia da informação	-	-	-	-	44,8	46,3
Desenvolvimento de software sob encomenda	-	-	-	-	37,8	72,1
Desenvolvimento de software não customizável	-	-	-	-	46	43,8
Desenvolvimento de software customizável	-	-	-	-	50	41,3
Outros serviços de tecnologia da informação	-	-	-	-	46,1	32,5

Fonte: Elaborado pelos autores a partir das seis edições PINTEC – IBGE disponíveis.

Sobre esses dados, em âmbito geral, as atividades apresentaram suave crescimento de (3,3%), porém se destaca o crescimento da atividade de desenvolvimento de *software* sob encomenda (90,7%), que se contrapõe a queda das atividades desenvolvimento de software não customizável (4,8%), customizável (17,4%) e outros serviços de TI (29,5%). Essa dinâmica abre espaço para investigações visando identificar quais aspectos dessas tecnologias sob demanda influenciaram a maior procura por parte das empresas, e em que medida se relacionam com robótica, *big data*, *IoT* e inteligência artificial. Também pode haver um componente de redução dos custos que tornou as customizações mais acessíveis, ou se cortes de orçamentos decorrentes da crise econômica no período exigiram direcionamento de investimentos nessa atividade em detrimento das outras.

Da mesma forma, a partir de IBGE (2016), entre os 10 destaques com as maiores proporções de dispêndios totais em atividades inovativas sobre a receita líquida de vendas, dois se enquadram na classificação CNAE 2.0 62: desenvolvimento de *software* não customizável (6,26%) e desenvolvimento de *software* customizável (6,24%).

A partir da constatação da relevância dos dispêndios, especialmente em *software*, pode-se lançar olhar mais próximo sobre uma das oito categorias de atividades sobre as quais a PINTEC registra gastos, a número (4), Aquisição de *software*. Essa categoria compreende a aquisição de *software* de desenho, de engenharia, de processamento e transmissão de dados, de voz, de gráficos, vídeos, bem como para a automatização de processos, entre outros. Considera-se que sejam comprados com o objetivo de implementação de produtos ou processos novos ou tecnologicamente aperfeiçoados, sem considerar os registrados em atividades internas de P&D, (IBGE, 2016).

Esses aspectos citados de processamento de dados, voz, vídeos e automatização atualmente podem utilizar linguagens de programação e ferramentas de desenvolvimento baseadas em algoritmos para a produção dos *softwares* (como o *Computer Assisted Telephone Interview - CATI System*, *software* desenvolvido sob encomenda para o IBGE realizar a PINTEC através do *in put* de dados inteligentes). Desta forma, eles tem o potencial de relação indireta com elementos da (I4.0) e (TD) como robótica, *big data*, *IoT* e inteligência artificial. Assim, a análise da sua evolução ao longo das edições PINTEC, mesmo com dados descontínuos decorrentes de alterações da metodologia, pode demonstrar a importância de acompanhamentos específicos e pode oferecer indícios relevantes.

Tabela 2 - Percentual da receita líquida de vendas gasto com a categoria de atividade inovativa (4), aquisição de *software*, nos setores de indústria e serviços – Brasil – 2000 a 2014.

SETORES	2000	2003	2005	2008	2011	2014
Indústria	-	-	0,05	0,07	0,06	0,05
Serviços selecionados	-	-	- *	0,68	0,53	0,29
Eletricidade e gás	-	-	-	-	0,04	0,01

Fonte: Elaborado a partir das edições PINTEC– IBGE.

*Exclusos valores desagregados de Telecomunicações, Informática e P&D.

Os dados apresentados na Tabela 2 demonstram queda na indústria entre as edições 2008 e 2014, mas com faixa média em torno de (0,057%) entre o período de 2003 – 2014, indicando a manutenção dos patamares. No entanto, a queda em serviços entre 2008 e 2014 é significativa (65%), e eletricidade e gás também (75%) entre 2011 e 2014. Resultados que podem ter relação com a crise econômica no país e de ações anticorrupção implementadas.

Tabela 3 - Importância da atividade inovativa (4), aquisição de *software*, nos setores de indústria e serviços – Brasil – 2000 a 2014.

SETORES	2000	2003	2005	2008	2011	2014
Indústria	-	-	14	24,3	31,6	31,7
Serviços selecionados	-	-	- *	54,8	46,7	52,6
Eletricidade e gás	-	-	-	-	65,5	62,3

Fonte: Elaborado a partir das edições PINTEC– IBGE.

* Exclusos valores desagregados de Telecomunicações, Informática e P&D.

Sobre a importância percebida da atividade apresentada na Tabela 3, nota-se na indústria um crescimento (126%) entre as edições de 2005 e 2014, e que se mantém em torno de (31,6%) entre 2011 e 2014. A percepção é maior, comparando, em Serviços selecionados, mantendo-se em torno de (51%) no mesmo período e também em Eletricidade e gás, em torno de (64%) entre 2011 e 2014. Essas duas apresentaram queda de (2,2%) e (3,3%), respectivamente, nos períodos nos quais foram observadas.

Esses são alguns *frames* proporcionados pela PINTEC que apresentam parte da realidade do país. A partir dos mesmos, podem-se observar alguns indícios relativos a tecnologias baseadas no uso de *softwares*. **Esses dados tem potencial de relação com produtos e serviços que utilizam algoritmos complexos e podem se relacionar à (I4.0) e TD**, o que poderia ser investigado através de pesquisas e instrumentos específicos. Também, demonstram a urgência de políticas que priorizem o desenvolvimento do país e da sociedade, o que embora possa ser feito através de áreas estratégicas e CT&I, vai além.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, as revisões e discussões realizadas apontaram que não há consenso sobre tecnologias relacionadas a Indústria 4.0 (I4.0) e Transformação Digital (TD) se constituírem como um novo paradigma dominante consolidado posterior à quinta revolução (era das TICs). Porém há evidências de uma revolução tecnológica insurgente relacionada às novas *General Purpose Technologies*, entre as quais é possível incluir tecnologias relacionadas à (I4.0) e (TD).

Já especificamente no contexto brasileiro, essas tecnologias poderiam ser induzidas através de políticas voltadas a *catch up* através de áreas estratégicas. Também foi percebida a necessidade de mais estudos baseados em dados primários nas firmas, bem como o

desenvolvimento de instrumentos de monitoramento específico de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e Transformação Digital, em apoio às empresas, pesquisadores acadêmicos e aos governos.

Nesse sentido, uma vez que a PINTEC não contempla essas variáveis, propõe-se a inclusão de robótica, *big data*, *IoT* e inteligência artificial como novos temas em sua metodologia. Esse aspecto pode servir, também, de base para o estabelecimento de parâmetros úteis à escolha e enquadramento de casos voltados a comparações teórico-empíricas. Bem como influenciar avanços na PNAD Contínua TIC – IBGE.

Da mesma forma, propõe-se P&D de instrumentos baseados em *big data*, *analytics* e *artificial intelligence* com potencial de produzir uma quarta geração de indicadores em Economia da Ciência Tecnologia e Inovação. Em tese, possibilitariam gerar *frames*, semelhantes à perspectiva proporcionada por “fractais”, a partir da correlação de múltiplas variáveis e mega quantidade de dados sobre dinâmica de setores da economia. Isso, visto que não havia possibilidade de coleta, tratamento estatístico e análises nesse nível, sejam por limitações das competências humanas ou das ferramentas e tecnologias disponíveis.

Esse potencial encontra respaldo no planejamento estratégico alemão e no objetivo de integração de dados das “fábricas inteligentes” de sua planta industrial, independente dos setores, através de *big data* e *analytics*, (*IoT*) e inteligência artificial. E também, principalmente por ser um projeto brasileiro, encontra respaldo nos estudos de grupo de pesquisa da USP, em parceria com universidades dos EUA, que já conduz as primeiras experiências realizadas com múltiplas variáveis e modelos de predição de eventos aplicáveis a cidades, com trabalhos baseados em leis de escala e redes complexas, de acordo com informes do OBSERVATÓRIO DA INOVAÇÃO – USP (2018).

Assim, essas premissas podem ser aplicadas a vários campos de estudo, como saúde no Brasil, outra proposição que apresentamos respaldada em Albuquerque (2018, p. 420) ao apontar que as informações geradas pelo SUS demonstram vocação especial e se tornam estratégicas para o desenvolvimento industrial em aproveitamento da janela aberta por tecnologias emergentes como *big data*, potencial também corroborado em IEL NC (2018, p.95). Essas propostas demonstram benefícios possíveis e significativos para o desenvolvimento econômico do país e dos seus cidadãos. Conclui-se contando que este breve estudo colabore ao debate e incentive pesquisas para o avanço científico do campo.

REFERÊNCIAS

AI100 STANDDING COMMITTEE AND STUDY PANEL. Artificial intelligence and life in 2030: one-hundred-year study on artificial intelligence. In: Report of the 2015-2016 study panel of Stanford University. Stanford, 2016. 52 p.

ARBIX, G.; MIRANDA, Z.; TOLEDO, D.; ZANCUL, E. Made in China 2025 e Industrie 4.0. A difícil transição chinesa do catching up à economia puxada pela inovação. Tempo Social, revista de sociologia da USP, v.30, n.3, p. 143-170. 2018.

ALBUQUERQUE, E. M. Dinâmica das Revoluções Tecnológicas: mudança técnica, dinâmica industrial e transformações do capitalismo. In (Orgs.). Economia da ciência,

tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global. 1ª ed. Curitiba: Editora Prismas, 2017. pp. 39-64.

ALBUQUERQUE, E. M. Catch up: ciência e tecnologia, desenvolvimento e desafios ambientais e demográficos em tempos de uma nova revolução tecnológica. In Alternativas para uma crise de múltiplas dimensões. Coleção População e Economia. Cedeplar. 2018. pp. 409-424.

ALBUQUERQUE, E. M. National System of innovation and non-OECD countries: notes about a rudimentary and tentative 'typology'. Revista de Economia Política, v.19, n. 4(76), p. 35-52. 1999.

ANGRAVE, D.; CHARLWOOD, A.; KIRKPATRICK, I.; LAWRENCE, M.; STUART, M. HR and analytics: why HR is set to fail the big data challenge. Human Resource Management Journal, v. 26, no 1, p. 1 – 11, 2016.

AVELLAR, A. P. M.; BITTENCOURT, P. F. Política de Inovação: instrumentos e avaliação. In (Orgs.). Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global. 1ª ed. Curitiba: Editora Prismas, 2017. pp. 571-622.

BUHR, D. Social innovation policy for Industry 4.0. Friedrich-Ebert-Stiftung, Division for Social and Economic Policies, 2015.

CIMINI, F.; SANTOS, M. L.; GUEDES-NETO, J. V. Grupos de interesse e trajetórias de desenvolvimento no Brasil e Chile. In Elites empresariais, estado e mercado na América Latina. Coleção População e Economia. Cedeplar. 2018.

CNI. Investimentos na Indústria 4.0 - Confederação Nacional da Indústria. Brasília: CNI, Junho, 2018.

FRANCISCO, E. R.; KUGLER, J. R.; LARIEIRA, C. L. Líderes da Transformação Digital. GVExecutivo, 22–27. 2017.

FREEMAN, C. Prefácio da parte II. In Dosi et al. (Orgs.) Technical Change and economic theory. London: Pinter, 1988.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. Technology at work: the future of innovation and employment. Oxford Martin School. University of Oxford, 2015.

FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. The future of employment: how susceptible are jobs to computerization? Oxford Martin School. University of Oxford, 2013. .

GODINHO, M. M. Indicadores de C&T, Inovação e Conhecimento: Onde estamos? Para onde vamos? p. 1-31, Lisboa, 2005.

HARARI, Y. N. Homo Deus: uma breve história do amanhã. São Paulo: Companhia das Letras, 2016.

HECKLAU, F. et al. Holistic approach for human resource management in Industry 4.0. Procedia CIRP, v. 54, p. 1-6, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.05.102>

HESS, T.; BENLIAN, A.; MATT, C.; WIESBÖCK, F. Options for Formulating a Digital Transformation Strategy. *MIS Quarterly Executive*, 15(2), 123–139. 2016.

IBGE. Pesquisa industrial de inovação tecnológica 2000 - 2014. Rio de Janeiro: IBGE, (2002; 2005; 2007; 2010; 2013; 2016).

INSTITUTO EUVALDO LODI NC. Síntese dos resultados. Volume 1 – Tecnologias disruptivas e indústria: Situação atual e avaliação prospectiva. Brasília: IEL/NC, 2018. 162 p. il. (Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas).

INSTITUTO EUVALDO LODI NC. Síntese dos resultados. Volume 2 – Desafios e Recomendações. Brasília: IEL/NC, 2018. 269 p. il. (Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas).

JÚNIOR, G. T. e SALTORATO, P. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. *Revista Produção Online*. Florianópolis, SC, v. 18, n. 2, p. 743-769, 2018.

LEVY, F.; MURNANE, R. *Dancing with robots: human skills for computerized work*. 1a Ed. Washington: Third Way Next, 2013.

LÉVY, P. *Inteligencia colectiva: por una antropología del ciberespacio*. 1a Ed. Biblioteca Virtual em Salud, BIREME – OPS – OMS. Washington, 2004[1997].

LIBÂNIO, G. Economia internacional e perspectivas do desenvolvimento brasileiro. In *Alternativas para uma crise de múltiplas dimensões*. Coleção População e Economia. Cedeplar. 2018. pp. 438. Cap. 7.

MAKRIDAKIS, S. *The Forthcoming Artificial Intelligence (AI) Revolution: Its Impact on Society and Firms*, 90, 46–60. 2017.

MAZZUCATO, M. *The entrepreneurial state*. London: Demos, 2011. pp. 151.

MENDONÇA, C. M. C.; ANDRADE, A. M. V.; NETO, M. V. S. *Uso da IoT, Big Data e Inteligência Artificial nas Capacidades Dinâmicas e seus Microfundamentos*. 15th International Conference on Information Systems & Technology Management, CONTECSI 2018. São Paulo, Brasil. Maio 23-25, 2018.

NILSSON, N. J. *The quest for artificial intelligence: a history of ideas and achievements*. Web version. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

OBSERVATÓRIO DA INOVAÇÃO. *Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina: Estado Atual, Tendências e Aspectos*. USP. São Paulo, 03/mai, 2018.

PAN, Y. *Heading toward Artificial Intelligence 2.0*. *Engineering*, 2(4), 409–413. 2016.

PEREZ, C.; SOETE, L. *Catching up in technology: entry barriers and Windows of opportunity*. in Dosi, G. et al. eds. *Technological change and Economic Theory*, London: Francis Pinter, pp. 458-479, 1988.

POLICY DEPARTMENT A – ECONOMIC AND SCIENTIFIC POLICY. Industry 4.0. Study for the ITRE Committee, European Parliament. 2016.

RAPINI, M. S. Cooperação universidade-empresa: realidade e desafios. In Alternativas para uma crise de múltiplas dimensões. Coleção População e Economia. Cedeplar. 2018. pp. 438. Cap. 21.

RAPINI, M. S.; SILVA, L. A.; ALBUQUERQUE, E. M. (Orgs.). Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global. 1ª Ed. Curitiba: Editora Prismas, 2017.

RIBEIRO, L. C.; ALBUQUERQUE, E. Countertendencies at work: new sectors and new regions in the current transition towards a new phase of capitalism. Science and Society, v. 80, n. 4, pp. 566-580, 2016.

RUSSEL, S.; NORVIG, P. Inteligência artificial: uma abordagem moderna. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2013.

SANTOS, L. B. Bancos de desenvolvimento, crescimento econômico e industrialização, na América Latina. In Elites empresariais, estado e mercado na América Latina. Coleção População e Economia. Cedeplar. 2018.

SANTOS, U. P. Reestruturação industrial e inovação no Brasil: possibilidades para a retomada do. In Alternativas para uma crise de múltiplas dimensões. Coleção População e Economia. Cedeplar. 2018. pp. 438. Cap. 22.

SCHWAB, Klaus. The Fourth Industrial Revolution. Genebra: World EconomicForum, 2016.

SILVA, D. R. M.; FURTADO, A. T. Modelos teóricos e interesses de mensuração no surgimento da pesquisa de inovação brasileira (PINTEC). Revista Brasileira de Inovação. Campinas (SP), 16 (1), p. 97-128, jan./jun. 2017.

TIDD, J.; BESSANT, J. Gestão da inovação. 5ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

TIGRE, P. B. Gestão da inovação: a economia da tecnologia no Brasil. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2006.

TIGRE, P. B. Paradigmas Tecnológicos. Estudos em Comércio Exterior - ECEX/IE/UFRJ, vol. 1, nº 2, jan./jun., 1997. ISSN 1413-7976.