

# **Digitalização à Mineira: tendências e condicionantes da adoção de tecnologias de base digital por empresas industriais no estado de Minas Gerais**

## **Resumo**

O trabalho discute o processo de digitalização em empresas industriais localizadas no estado de Minas Gerais a partir da sua percepção acerca da adoção digital atual e futura coletadas no Projeto I-2030 que, por sua vez, procura avaliar este processo a partir de um questionário estruturado aplicado sobre um painel de 982 empresas no conjunto do país. Ademais, busca identificar os fatores condicionantes da adoção em termos da construção de um ecossistema regional de capacitação tecnológica. O artigo estrutura-se em cinco seções. A primeira seção apresenta algumas evidências sobre a adoção de tecnologias digitais na indústria brasileira. A segunda seção busca contextualizar este processo de adoção, discutindo evidências da evolução recente da indústria de Minas Gerais comparativamente à evolução geral da indústria brasileira. A terceira seção discute a percepção atual e futura sobre a adoção de tecnologias digitais na indústria de Minas Gerais, e dos esforços associados, comparativamente ao conjunto do país e determinados estados selecionados. A quarta seção discute alguns fatores condicionantes do processo de digitalização de empresas industriais, procurando articular informações sobre a percepção das empresas acerca desses fatores levantadas no Projeto I-2030 com informações extraídas de fontes secundárias que possibilitam ilustrar estes aspectos. Uma última seção sumariza as conclusões do estudo.

Palavras Chave; Digitalização; Indústria Minas gerais; Percepções de firmas: Adoção tecnológica

## **Abstract**

The paper discusses the digitalization process in industrial companies located in the state of Minas Gerais from their perception about current and future digital adoption collected in the I-2030 Project, which, in turn, seeks to evaluate this process from a structured questionnaire applied on a panel of 982 companies across the country. Furthermore, it seeks to identify the conditioning factors of adoption in terms of building a regional ecosystem of technological training. The article comprises five sections. The first section presents some evidence on the adoption of digital technologies in Brazilian industry. The second section seeks to contextualize this adoption process, discussing evidence of the recent evolution of the Minas Gerais industry compared to the general evolution of the Brazilian industry. The third section discusses the current and future perception of the adoption of digital technologies in the industry of Minas Gerais, and the associated efforts, compared to the country as a whole and certain selected states. The fourth section discusses some conditioning factors of the digitalization process of industrial companies, seeking to articulate information on the perception of companies about these factors raised in the I-2030 Project with information extracted from secondary sources that make it possible to illustrate these aspects. A final section summarizes some conclusions.

**Key words:** Digitization; Minas Gerais; Manufacture industry; Firms' perceptions; Technology Adoption

## Introdução

As tecnologias digitais definem heurísticas de resolução de problemas para uma grande diversidade de campos e formas de aplicação no setor industrial. Na medida em que podem ser amplamente utilizadas, que seus custos caem e que a oferta de soluções aumenta, o potencial de mudanças que essas tecnologias podem implicar se amplia. Em função da sua adoção, muda-se a forma como as empresas produzem e comercializam seus produtos, a maneira como as pessoas trabalham, compram e consomem e o modo como as instituições públicas realizam suas funções. As tecnologias digitais combinam uma dimensão "*soft*" - *big data* e inteligência artificial - crescentemente carregada de "inteligência" que possibilita resolver problemas crescentemente complexos - com uma dimensão "*hard*" - sensores, computadores, robôs – e uma dimensão de "conectividade" - através do uso intensivo de redes de comunicação.

O desafio da adoção de tecnologias de base digital pela indústria em países em desenvolvimento, como o Brasil, é de integrar as gerações mais avançadas de tecnologias para executar várias tarefas de produção dentro dos sistemas de produção existentes, requerendo um processo contínuo de atualização dos sistemas de produção e o desenvolvimento de novas capacidades (Andreoni e Anzolin, 2019). Os ganhos de produtividade relacionados à adoção de tecnologias de base digital tendem a estar fortemente correlacionados com as capacidades e o desempenho das empresas. Por um lado, as capacidades e dotações de fatores das empresas determinam a adoção efetiva dessas tecnologias (CEPAL, 2021). Por outro lado, as empresas mais produtivas e próximas, da fronteira tecnológica são mais propensas a adotar novas tecnologias devido a presença de complementaridades entre novas tecnologias e outros investimentos que aumentam a produtividade. Neste sentido, há uma divisão dentro dos países em desenvolvimento, onde muitos atores de baixa capacidade e baixo desempenho coexistem com outros mais avançados, conformando um cenário de heterogeneidade digital (Ferraz et al, 2019). Esta heterogeneidade refere-se não apenas à configuração da estrutura produtiva em termos da especialização setorial e tamanho das empresas, além de outros aspectos (perfil exportador, origem do capital, capacitação inovativa, etc), como também à distribuição espacial da indústria, particularmente em países de dimensão continental como o Brasil, sendo possível diferenciar regiões com maior concentração de empresas em estágios mais avançados no processo de digitalização.

Este trabalho discute evidências do processo de digitalização em empresas industriais localizadas no estado de Minas Gerais a partir da sua percepção acerca da adoção digital atual e futura coletadas no Projeto I-2030<sup>1</sup> que, por sua vez, procura avaliar este processo a partir de um questionário estruturado aplicado sobre um painel de 982 empresas no conjunto do país. Ademais, busca identificar os fatores condicionantes da adoção em termos da construção de um ecossistema regional de capacitação tecnológica. O artigo estrutura-se em cinco seções. A primeira seção apresenta algumas evidências sobre a adoção de tecnologias digitais na indústria brasileira. A segunda seção busca contextualizar este processo de adoção, discutindo evidências da evolução recente da indústria de Minas Gerais comparativamente à evolução geral da indústria brasileira. A terceira seção discute a percepção atual e futura sobre a adoção de tecnologias digitais na indústria de Minas Gerais, e dos esforços associados, comparativamente ao conjunto do país e determinados estados selecionados. A quarta seção discute alguns fatores condicionantes do processo de digitalização de empresas industriais, destacando aspectos relacionados ao ambiente (ecossistema) no qual operam estas empresas e fatores relacionados ao impacto sobre emprego e qualificações, procurando articular informações sobre a percepção das empresas acerca desses fatores levantadas no Projeto I-2030 com informações extraídas de fontes secundárias que possibilitam ilustrar estes aspectos. Uma última seção sumariza as conclusões do estudo.

---

<sup>1</sup> O Projeto I-2030 procurou determinar estágio de adoção de soluções digitais (hoje e futuro de 5 a 10 anos) em empresas industriais, buscando também analisar implicações da digitalização sobre atributos competitivos e socioambientais, bem como a importância de fatores do entorno para o investimento em soluções digitais, a partir de pesquisa de campo por telefone (coordenada pelo Instituto Vox Populi), realizada entre novembro 2019 e junho 2020, envolvendo 982 empresas entrevistada

## **1. Adoção de tecnologias digitais: aspectos conceituais e evidências para a indústria brasileira**

A adoção de "tecnologias digitais" envolve tanto uma dimensão "extensiva" - vinculada à "amplitude" do uso dessas tecnologias nas operações de uma empresa - como uma dimensão intensiva - vinculada à "integração" dessas tecnologias como meio para reforço da competitividade das empresas. O avanço do processo de adoção de tecnologias digitais tem sido realizado combinando novas soluções com aquelas já existentes de gerações anteriores, já que muitas soluções baseadas em microeletrônica existem a algum tempo com diferentes safras de soluções coexistindo.

Alguns aspectos fundamentais associados à variedade de soluções digitais e à diversidade de atividades passíveis de serem afetadas devem ser considerados. Em primeiro lugar, como muitas tecnologias digitais estão disponíveis há bastante tempo, o que se verifica é a existência de tecnologias de gerações distintas que cumprem as mesmas funções, porém com custo, capacidade e performance diferentes (por exemplo, o CAD). Assim como tecnologias que são verdadeiramente novas quando surgiram como, por exemplo, as tecnologias de armazenamento em nuvem e que, posteriormente, entram em uma trajetória evolutiva de melhoria e aperfeiçoamento, tendendo a favorecer a sua adoção. Em segundo lugar, as tecnologias digitais são utilizadas em locais específicos de uma empresa e associadas a diferentes funções organizacionais – como, por exemplo, suporte ao design de produtos, gerenciamento de produção ou relacionamento com fornecedores ou clientes. Em terceiro lugar, algumas tecnologias são de uso genérico – sensores- porém outras são de aplicação restrita - robôs de pintura, por exemplo. Finalmente, para além da propensão setorial inerente à digitalização -uma montadora de componentes eletrônicos versus uma mineradora de níquel, por exemplo - as empresas se defrontam com outros indutores distintos para a digitalização: o tamanho, o nível de sofisticação e o grau de exigência de seu mercado consumidor; a estrutura de custos - diretos e indiretos- sob o qual a empresa opera; a relação custo de investimento total/custo de investimento em tecnologias digitais e até mesmo o grau de conhecimento e competência da empresa.

A avaliação da adoção de tecnologias digitais pela indústria brasileira ainda é uma temática relativamente pouco explorada. Apesar disso, algumas análises recentes mais sistemáticas nessa direção podem ser destacadas. Estudos elaborados pela Confederação Nacional da Indústria (CNI) abordam a adoção pontual de tecnologias de base digital com base na definição de listas dessas tecnologias (2016, 2018), avançando na identificação de alguns condicionantes gerais da adoção dessas tecnologias, inclusive considerando os impactos na pandemia do COVID nessa direção (2017; 2020a; 2020b). Empresas de consultoria têm abordado essa adoção do ponto de vista da avaliação da sua relevância estratégica para as empresas e do estágio de "maturidade" na adoção dessas tecnologias, a partir de amostras restritas de empresas (PWC, 2016; McKinsey, 2019; KPMG, 2021).

No campo acadêmico, alguns estudos avançam na direção da sistematização dos processos inerentes à adoção de tecnologias de base digital na manufatura, associando-os à realidade brasileira. Com base nas evidências da literatura, Arbix et al (2017) distinguem três motores essenciais da adoção dessas tecnologias: 1) processos de digitalização, associados à coleta de grande volume de dados em tempo real; 2) processos de integração, em vários níveis - entre softwares e hardware; entre processos de negócio, empresas e cadeias de produção - com reflexos na agregação de valor, agregação de serviços e reforço da agilidade e produtividade; 3) processos de automação, contemplando a tomada de ação autônomas, conforme informações do sistema integrado, tornando a produção mais flexível e customizada. No tocante aos benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 em empresas industriais brasileiras, Reis (2021) identifica benefícios e barreiras e avalia a importância dos mesmos para 127 empresas, observando que os benefícios de natureza mais operacionais foram considerados mais importantes pelas empresas de tamanho pequeno-médio e origem de capital nacional, enquanto os benefícios de natureza mais estratégica e gerencial foram considerados mais importantes pelas empresas grandes e internacionais. Em relação às barreiras, no geral, os resultados

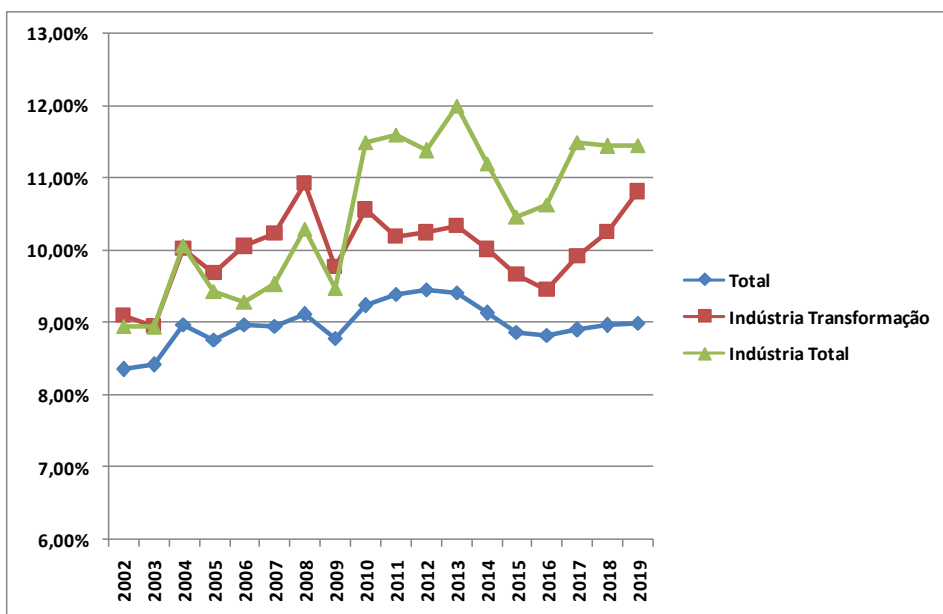
mostram que as empresas grandes e internacionais consideram as barreiras avaliadas como mais relevantes do que as empresas pequeno-médias e nacionais.

Análises realizadas pelo Núcleo de Engenharia Organizacional da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (NEO/UFRGS) também podem ser destacadas. A análise coordenada por Frank (2017) discute a adoção de tecnologias digitais em uma amostra de 90 empresas associadas à ABIMAQ, abordando os objetivos que as empresas desejam alcançar com a implementação dos conceitos da Indústria 4.0, as expectativas dos clientes quanto à implementação desses conceitos e o perfil do nível de implementação de quatro tecnologias de base (Internet das Coisas, Serviços em Nuvem, Grandes Bases de Dados - Big Data e análise estruturada dos Dados - *Data Analytics*). Além disso, Frank et al (2019) discutem a adoção de tecnologias digitais associadas a quatro dimensões: 1) *Smart Manufacturing*: conjunto de tecnologias focadas nos aspectos internos da fábrica; 2) *Smart Working*: tecnologias que cumprem a função de auxiliar o trabalhador de maneira que este se torne mais produtivo; 3) *Smart Supply Chain*: tecnologias de comunicação e integração de informações na cadeia de suprimentos; 4) *Smart Products and Services*: produtos que possuem conectividade, permitindo oferecer serviços adicionais ao cliente e coletar informações relevantes para a manufatura e engenharia da empresa. A análise de Dalenogare (2018) procura identificar, a partir de *survey* conduzida em escopo nacional pela CNI, quais os benefícios esperados pelas empresas brasileiras do setor industrial com a adoção de tecnologias específicas baseadas no conceito da Indústria 4.0, relacionando estas evidências com a literatura e procurando identificar as tecnologias com maior contribuição para performance operacional e para o desenvolvimento de novos produtos. A pesquisa identifica dimensões notoriamente menos desenvolvidas nas empresas, com destaque para as tecnologias de integração com a cadeia de suprimento (*Smart Supply Chain*) e as tecnologias para produtos conectados (*Smart Products*). Já as dimensões *Smart Manufacturing* e *Smart Working*, estariam avançando nas empresas, sendo que a mais desenvolvida é a *Smart Manufacturing*, que considera tecnologias especificamente para a manufatura. Contudo, nesta dimensão só um grupo específico de empresas se caracterizou como avançado (20% das empresas). A forma progressiva de implementação das tecnologias envolveria, primeiramente, realizar a integração dos sistemas e, após, focar em inteligência artificial e outras técnicas analíticas mais avançadas

## 2. A indústria de Minas Gerais no contexto da Indústria Brasileira

O foco da análise reside na intensidade do processo de digitalização em empresas industriais de Minas Gerais. é natural imaginar que a adoção de tecnologias digitais decorre de uma base industrial com características específicas. Como ponto de partida, é possível considerar alguns indicadores básicos extraídos das Contas Regionais que ilustram o comportamento recente da indústria de Minas Gerais comparativamente ao conjunto do Brasil. Neste sentido, o **Gráfico 1** apresenta informações sobre a participação de Minas Gerais no Valor Adicionado Total, no Valor Adicionado do Total da Indústria e no Valor Adicionado da Indústria de Transformação, com base em informações das Contas Regionais do IBGE para o período 2002-2019. O crescimento da participação no total da indústria até 2013 - apesar do interregno de 2009 - se explica principalmente pela contribuição da Indústria Extrativa, com relativa estabilidade da Indústria de Transformação. O aumento da participação de Minas Gerais no Valor Adicionado da indústria também contribuiu para o aumento da participação do estado no Valor Adicionado Total até 2012. Entre 2014-2016, confirma-se a queda da participação de Minas Gerais, aspecto também evidenciados pelos dados da PIA-IBGE apresentados a seguir. Já a recuperação relativa observada a partir de 2017 foi mais pronunciada no caso da Indústria de Transformação, comparativamente ao Total da Indústria e ao Valor Adicionado Total.

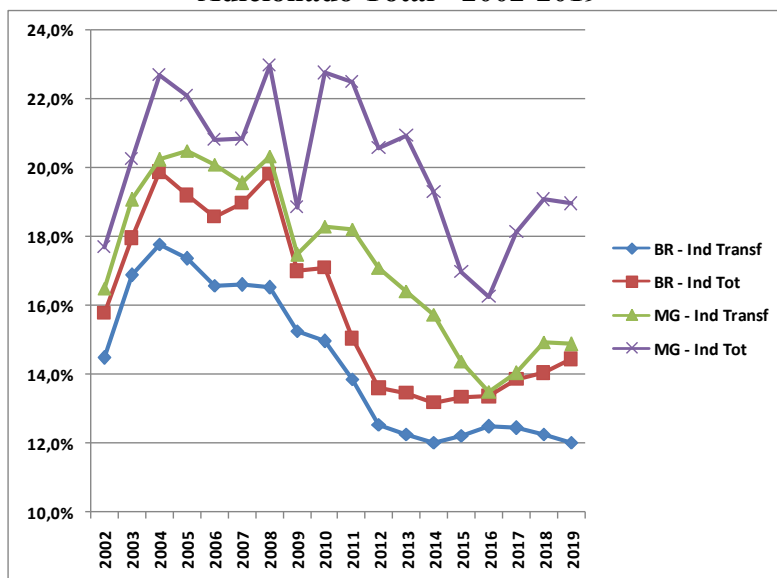
### **Gráfico 1 - Participação de Minas Gerais no Valor Adicionado Total, na Indústria de Transformação e no Total da Indústria –2002 a 2019**



Fonte: Contas Regionais/IBGE

As informações das Contas Nacionais ilustram também a evolução da participação da Indústria de Transformação e do Total da Indústria no Valor Adicionado Total para o período 2002-2019, a partir da qual é possível apontar algumas características mais gerais do processo de "desindustrialização" em Minas Gerais, comparativamente ao conjunto do país. As informações apresentadas no **Gráfico 2** indicam uma queda relativamente contínua do indicador a partir de 2004, porém com algumas particularidades importantes: i) participações relativamente mais elevadas do indicador em Minas Gerais, apesar de uma aproximação no final do período, principalmente para a Indústria de Transformação; ii) efeitos mais pronunciados da crise de 2009 em Minas Gerais, principalmente para o Total da Indústria; iii) queda muito intensa do indicador para Minas Gerais entre 2010 e 2016, comparativamente a uma certa estabilidade no caso brasileiro; iv) movimento mais favorável do indicador em Minas Gerais entre 2017-2019 comparativamente ao total do Brasil, principalmente no caso da Indústria de Transformação.

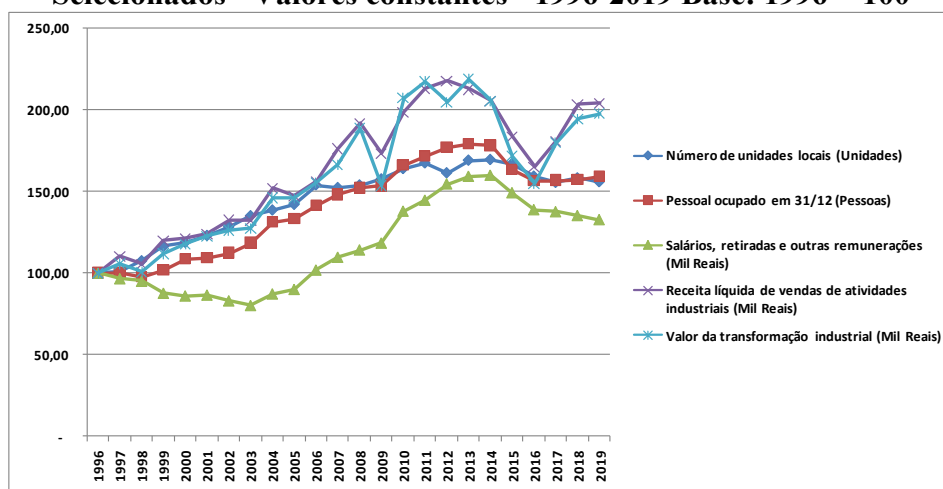
**Gráfico 2 - Participação da Indústria de Transformação e do Total da Indústria no Valor Adicionado Total - 2002-2019**



Fonte: Contas Regionais/IBGE

O desempenho comparado da indústria de Minas Gerais em relação ao total do país pode ser discutido também com base em informações da Pesquisa Industrial Anual (PIA) do IBGE. O **Gráfico 3** ilustra a evolução do desempenho geral da indústria em Minas Gerais a partir dos seguintes indicadores extraídos da PIA-IBGE para o período 1996-2019: Número de unidades locais; Pessoal ocupado; Salários, retiradas e outras remunerações; Receita Líquida de Vendas (RLV) de atividades industriais; Valor da Transformação Industrial (VTI). A partir das informações apresentadas, percebe-se, no caso de Unidades locais, Pessoal Ocupado e Salários, um crescimento contínuo entre 2002 e 2014, com decréscimo e relativa estabilização no período subsequente. Já no caso da Receita Líquida de Vendas e do Valor da Transformação Industrial, os indicadores crescem de forma relativamente regular entre 2002 e 2013, apesar do interregno da crise de 2009, com queda pronunciada entre 2014-2016 e recuperação relativa entre 2017-2019, apesar de sem retornar ao patamar anterior ao auge anterior.

**Gráfico 3 - Evolução do Desempenho Geral da Indústria em Minas Gerais- Indicadores Selecionados - Valores constantes - 1996-2019 Base: 1996 = 100**

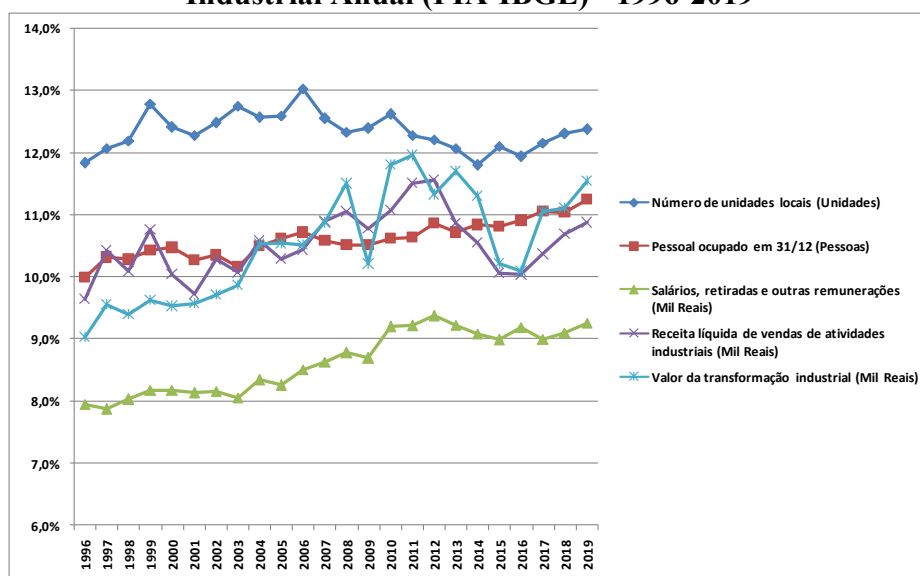


Fonte: Pesquisa Industrial Anual (IBGE)

O **Gráfico 4** complementa o anterior apresentando a evolução da participação de Minas Gerais em termos dos indicadores selecionados da PIA-IBGE para o período 1996-2019. A maior participação média ocorre no caso de Unidades locais, com uma média de 12,3% para o conjunto do período, com relativa estabilização dessa participação. A participação no total de Pessoal ocupado também

apresenta uma tendência à estabilidade com tendência ao crescimento, atingindo uma média de 10,6% para o conjunto do período. No caso dos Salários, a participação, apesar da média mais baixa de 8,6% ao longo do período, apresenta uma nítida tendência de crescimento até 2012, com estabilização subsequente. No Caso da RLV e do VTI, há um crescimento relativamente contínuo da participação até 2013 - apesar da redução em 2009 - com queda expressiva entre 2014-2016 e recuperação relativa entre 2017-2019. Essas evidências sugerem que a indústria mineira é particularmente sensível aos momentos de desaceleração geral da indústria brasileira, com tendência à redução da participação nesses momentos.

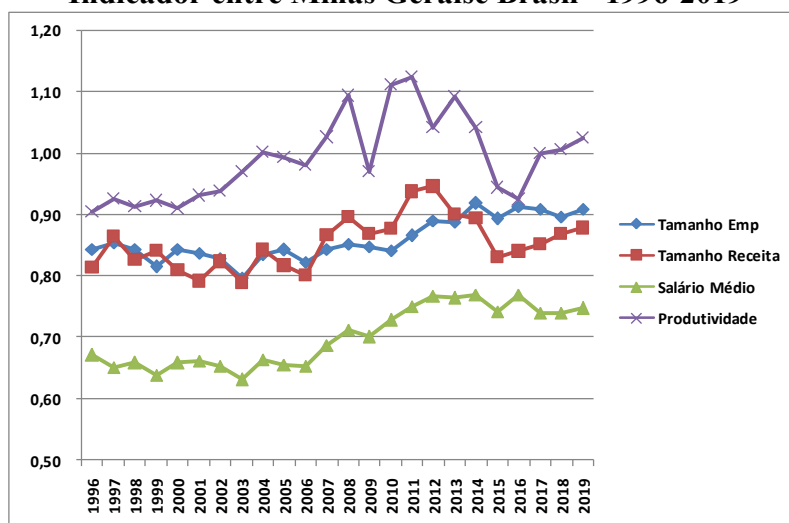
**Gráfico 4 - Evolução da participação de Minas Gerais- Indicadores Seleccionados - Pesquisa Industrial Anual (PIA-IBGE) - 1996-2019**



Fonte: Pesquisa Industrial Anual (IBGE)

As informações da PIA podem também ser utilizadas para comparar a evolução da indústria de Minas Gerais em relação ao total do Brasil no tocante a determinados indicadores derivados, a saber: Tamanho de Estabelecimentos em termos de Empregados; Tamanho de Estabelecimentos em termos de Receita Líquida de Vendas; Salário Médio do Pessoal Empregado; Produtividade em termos de VTI por Empregado. O **Gráfico 5** apresenta a evolução da relação destes indicadores entre Minas Gerais e Brasil para 1996 a 2019. Há uma certa estabilidade da relação para o Tamanho Médio (em termos de emprego e receita) entre 1996 e 2006, com crescimento no período posterior. No caso do Tamanho Médio em termos de Emprego, este crescimento é contínuo até 2014, com estabilização posterior. No caso do Tamanho Médio em termos de Receita, observa-se um crescimento mais pronunciado até 2012, com queda até 2015 e elevação lenta posterior. No caso do Salário Médio, a relação apresenta um valor mais baixo e estável entre 1996-2006 em torno de uma relação de 0,65, com crescimento contínuo entre 2006 -2016. No caso da relação referente à Produtividade, a mesma cresce continuamente entre 2000 e 2012 (com o interregno da crise de 2009) - devido principalmente à evolução do VTI, e ultrapassando o valor médio do país - com decréscimo entre 2013 e 2017 e recuperação entre 2018-2019.

**Gráfico 5- Comparação de Indicadores Seleccionados - Tamanho de Estabelecimentos em termos de Empregados, Tamanho de Estabelecimentos em termos de Receita, Salário Médio do pessoal empregado, Produtividade em termos de VTI por Empregado - Relação do Indicador entre Minas Geraise Brasil - 1996-2019**



Fonte: Pesquisa Industrial Anual (IBGE)

Considerando que a adoção de tecnologias de base digital constitui a base para diversos tipos de inovação –seja ao nível de produtos e processos – é razoável supor que as empresas industriais com maior perfil inovativo estariam, a princípio, mais propensas à adoção daquelas tecnologias. Neste sentido, é importante considerar o perfil das empresas industriais inovadoras em Minas Gerais, comparativamente ao conjunto do país. Para essa comparação, é possível considerar as informações da última edição da PINTEC/IBGE relativa ao ano de 2017. O **Quadro 1** apresenta informações sobre o total de firmas com gastos inovativos e o total de gastos inovativos por diversos itens para Minas Gerais, estados seleccionados e o total do Brasil no ano de 2017. Segundo essas informações, foram identificadas naquele ano 3.076 empresas com gastos inovativos de um total de 11.784 empresas cobertas na análise em Minas Gerais, representando uma taxa de 26,1%, inferior à taxa para o conjunto do país (28,6%) e também inferior à taxa dos demais estados). Observa-se também que Minas Gerais era responsável por 10,5% das empresas com gastos inovativos (e por 8,5% das empresas com gastos em P&D), contra uma participação de 11,5% na base total de empresas, sendo que essa participação se apresentava mais elevada nas empresas com gastos em Treinamento (13,8%) e mais reduzida nas empresas com gastos com Aquisição Externa de P&D (4,9%).

**Quadro 1 - Total de Firmas com gastos inovativos e total de gastos inovativos por Itens - Minas Gerais, estados seleccionados e total do Brasil - 2017**

	Total	Total Firmas com Gastos Inovativos	Atividades internas de Pesquisa e Desenvolvimento	Aquisição externa de Pesquisa e Desenvolvimento	Aquisição de outros conhecimentos externos	Aquisição de software	Aquisição de máquinas e equipamentos	Treinamento	Introdução das inovações tecnológicas no mercado	Projeto industrial e outras preparações técnicas
Total de Firmas										
<b>Brasil</b>	102.514	29.289	5.973	2.056	4.297	9.935	20.649	10.942	9.082	10.067
<b>MG</b>	11.784	3.076	486	84	340	974	2.227	1.461	735	999
SP	33.267	8.872	2.365	866	1.121	3.012	5.957	2.840	2.861	2.782
PR	8.735	3.129	621	296	644	1.347	2.015	1.408	1.204	1.191
SC	9.747	3.205	635	244	379	1.161	2.195	1.219	986	899
RS	10.595	3.236	959	224	630	1.228	2.701	1.030	1.121	1.052
<b>% MG</b>	11,5%	10,5%	8,1%	4,1%	7,9%	9,8%	10,8%	13,4%	8,1%	9,9%

Fonte: PINTEC (IBGE)



### **3. Adoção de Tecnologias Digitais na Indústria de Minas Gerais: identificação da percepção Atual e Futura**

#### **3.1.Aspectos metodológicos**

Neste presente trabalho, busca-se compreender os padrões de adoção atuais e as perspectivas futuras da digitalização em empresas industriais brasileiras utilizando como referência a base conceitual e as informações extraídas do Projeto I-2030, realizado pela UFRJ em parceria com Unicamp e UFF, entre outubro de 2019 e maio de 2020, com foco na avaliação da percepção das empresas industriais sobre o nível atual e esperado no futuro da adoção de tecnologias de base digital, bem como nos esforços realizados para viabilizar essa adoção. O pressuposto é que a adoção de tecnologias de base digital ocorre de forma diferenciada em diversas indústrias, condicionada pela forte heterogeneidade em termos dos níveis de capacidades e competências empresariais (Ferraz, 1989; Kupfer e Rocha, 2005; Ferraz, Sousa e Kupfer, 2010). Em particular, existe a possibilidade de as empresas estarem utilizando tecnologias digitais de gerações diferentes, aplicadas em diferentes funções de negócios. Dentro dessa perspectiva analítica, é relevante determinar não apenas o estágio de desenvolvimento das empresas em termos da adoção de tecnologias digitais, mas também quais medidas estão sendo tomadas para viabilizar a adoção dessas tecnologias. Saltos qualitativos para novas gerações tecnológicas podem ser alcançados por meio do esforço empreendedor, mas isso requer planejamento e ações direcionadas para adquirir as tecnologias necessárias, bem como para obter os recursos adequados em termos de infraestrutura física, conhecimentos e habilidades. Adicionalmente, saltos para gerações tecnológicas progressivamente mais avançadas tendem a ser mais exigentes em termos desses requisitos.

Tomando as soluções mais avançadas como referência, no projeto I-2030 foram consideradas quatro gerações de tecnologias digitais (IEL (2017)):Primeira geração (G1): utilização de tecnologias digitais para um propósito específico de forma localizada, pontual e parcial, sem modificar substancialmente o caráter ainda essencialmente “rígido” da produção; Segunda geração (G2): uso de tecnologias digitais que associam parcialmente diferentes funções, tornando a produção mais enxuta e “flexível”; Terceira geração (G3): tecnologias digitais são interconectadas nas diferentes funções do negócio, configurando uma produção mais “integrada” por meio dessas tecnologias/ Quarta geração (G4): produção efetivamente integrada, conectada e inteligente; com as tecnologias digitais apoiando amplamente os processos de decisão.

As tecnologias incluídas nas gerações G1 e G2 existem e estão disponíveis desde que existem sistemas de programação de controle numérico (final dos anos 1950). A geração G1 é mais bem descrita como um processo autônomo e pontual, já que as empresas usam tecnologias digitais para tarefas muito específicas em funções de negócios localizadas. O relacionamento com fornecedores e clientes é feito por meio de transmissões manuais ou telefônicas e os registros são realizados em livros, diários de bordo e/ou planilhas. A transição de G1 para G2 não exige grandes esforços em termos de mudanças organizacionais e investimentos, na medida em que as mudanças associadas são incrementais e as empresas podem acabar evoluindo na direção de uma produção mais "enxuta", com maior qualidade e produtividade.

Na geração G3, todas as funções de negócios são integradas digitalmente. Se os sistemas ERP funcionam de forma eficaz, o fluxo de informações permite a reestruturação de várias funções de negócios. Nessa fase, a padronização dos procedimentos de produção, comunicação e administração deve ser bem desenvolvida. Como resultado, os tempos de inatividade e o desperdício de produção devido a falhas de informação são minimizados. Ao mesmo tempo, o grau de envolvimento com parceiros adequados (fornecedores e clientes) é alto e a empresa pode ativar ou responder às demandas quase em tempo real. A transição de G2 para G3 requer esforços significativos: as empresas devem fazer os investimentos necessários para integrar totalmente suas funções de negócios e padronizar de forma abrangente e eficaz seus processos e sistemas de informação.

O nível de digitalização da geração G4 é muito alto: a empresa opera como um sistema cibernético. Se implementada de forma eficaz e abrangente, a melhor representação de uma empresa G4 é que ela tem um gêmeo digital: o gerenciamento de processos e o desenvolvimento de produtos são baseados em modelagem virtual; *big data* e inteligência artificial estão sendo plenamente utilizados, inclusive nas relações externas e na prevenção básica de processos, e a otimização na tomada de decisões pode, de fato, ser delegada ao sistema cibernético existente. Para passar do G3 para o G4, mudanças substanciais são necessárias, pois o G4 é caracterizado pelo uso de dispositivos avançados de comunicação, robotização, sensorização, *big data* e inteligência artificial, entre outros. Nessa fase, as soluções G4 são provavelmente introduzidas de forma gradual, mas o resultado final é um modelo de negócio integrado, interligado e “inteligente”, que difere consideravelmente do adotado por uma empresa G3 completa.

Para entender melhor a intenção das empresas de evoluir da geração tecnológica atual para a projetada num futuro de referência, a natureza dos esforços que elas estão empreendendo atualmente (se houver) para atingir o nível projetado de digitalização constitui um aspecto particularmente importante e que deve ser avaliada. Visando fundamentar melhor as expectativas futuras, no caso do Projeto I-2030, as empresas foram questionadas sobre as medidas tomadas atualmente para alcançar a implementação das tecnologias digitais futuras projetadas, com base em quatro níveis de "prontidão": 1) nenhuma ação, 2) estudos preliminares em andamento, 3) planejamentos já em andamento ou em formalização e 4) planos formalizados e já em implementação. As empresas foram, portanto, solicitadas a identificar quais tipos de medidas estavam sendo realizadas com o objetivo de atingir o nível projetado de digitalização para cada função organizacional. Pressupõe-se que saltos qualitativos em direção a uma geração digital mais avançada só podem ser alcançados por meio de esforços explícitos envolvendo planejamento de negócios e investimentos para aquisição de tecnologias e recursos adequados em termos de infraestrutura física, conhecimentos e habilidades.

### **3.2. Percepção de adoção Atual e Futura e esforços para a digitalização**

As evidências levantadas indicam que a adoção de tecnologias digitais é fortemente condicionada pela percepção das empresas sobre os impactos dessas tecnologias, que modula o ritmo do processo de adoção atual e define uma expectativa de adoção futura com fins de atualização tecnológica em resposta a pressões competitivas e a desafios estratégicos.

A pesquisa de campo por detrás do Projeto I-2030 é de natureza auto declaratória e indica, portanto, a percepção da empresa sobre o seu próprio processo de digitalização. A base total da pesquisa contemplou 1003 estabelecimentos respondentes. O **Quadro 2** revela a distribuição desses estabelecimentos por sistema produtivo, pelos principais estados da federação contemplados. A partir das informações apresentadas, percebe-se uma proximidade entre o número total de empresas contempladas nos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, comparativamente a um menor número no Rio de Janeiro e a um número bem maior em São Paulo. Desse modo, optou-se, na análise comparativa desenvolvida a seguir, confrontar as evidências relativas aos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, comparando-os também com o conjunto do país. Cabe destacar também que não se encontram diferenças significativas em termos da concentração setorial geral da amostra entre estes estados, apesar de Minas Gerais destacar pelo maior peso relativo do segmento de Insumos Básicos.

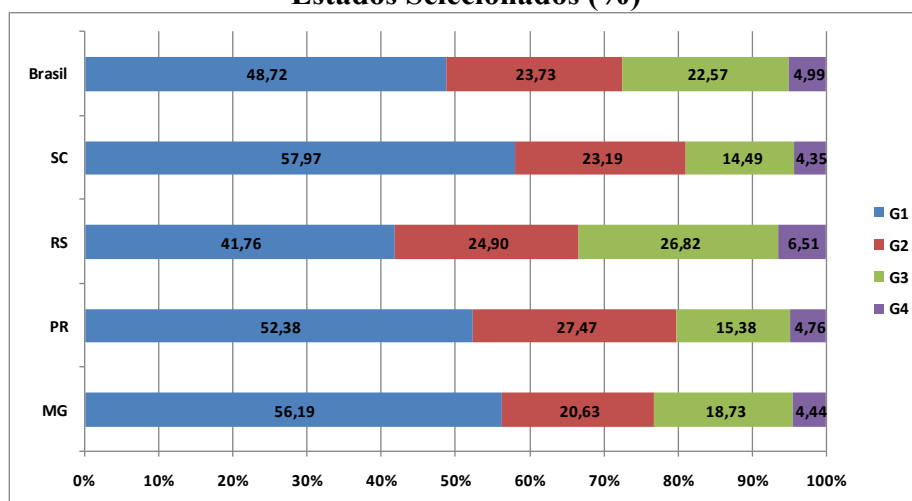
**Quadro 2 - Caracterização do painel de empresas do I-2030 por Sistema produtivo - Minas Gerais, Brasil e Estados Selecionados**

	Minas Gerais (n=105)	Paraná (n=91)	Rio de Janeiro (n=45)	Rio Grande do Sul (n=87)	Santa Catarina (n=92)	São Paulo (n=395)	Outros(n=188)	Total (n=1003)
% em Relação ao Total								
1 Agroindústria	16,2%	17,6%	8,9%	8,0%	12,0%	14,4%	27,1%	16,3%
2 Bens de Capital	6,7%	14,3%	13,3%	21,8%	19,6%	20,8%	6,9%	15,8%
3 Bens de Consumo	21,0%	12,1%	8,9%	26,4%	23,9%	14,7%	12,8%	16,4%
4 Complexo Automotivo	3,8%	11,0%	2,2%	10,3%	4,3%	11,4%	2,1%	7,7%
5 Insumos Básicos	19,0%	12,1%	8,9%	8,0%	14,1%	11,1%	16,5%	13,0%
6 Petróleo e Gás	3,8%	1,1%	13,3%	0,0%	0,0%	0,5%	1,1%	1,5%
ce7 Química	12,4%	7,7%	31,1%	10,3%	13,0%	13,2%	19,7%	14,4%
8 Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC)	5,7%	5,5%	0,0%	6,9%	1,1%	3,5%	4,3%	4,0%
9 Outros	11,4%	18,7%	13,3%	8,0%	12,0%	10,4%	9,6%	11,2%
<b>Total geral</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030

Considerando uma diferenciação entre distintas “gerações digitais”, as informações coletadas incluem a adoção atual e projetada de tecnologias digitais por empresas industriais. Além de determinar o uso atual das tecnologias digitais das empresas (ou a geração tecnológica em uso em 2020), a investigação também teve como objetivo denotar as expectativas futuras das empresas em termos de adoção de tecnologia digital, usando como 2030 como referência temporal. A partir dos recortes utilizados, é possível avançar na discussão de um primeiro aspecto, relacionado ao grau de difusão atual (“hoje”) das tecnologias disruptivas. Considerando o conjunto do painel, o **Gráfico 6** indica que, quando se considera informações de diversas “Funções Empresariais” (a saber, Relacionamento com fornecedores, Gestão da produção e Relacionamento com clientes) em conjunto, verifica-se que apenas 5,0% das empresas do painel encontravam-se na Geração 4 em termos da adoção de tecnologias digitais. Mais do que isso, 72,5% das empresas encontravam-se nas Gerações 1 e 2, não tendo ainda alcançado a Geração 3, equivalente à “Produção Integrada”, com uso relativamente intensivo de TICs nas diversas áreas organizacionais. Comparativamente a esse quadro geral para o país, em Minas Gerais, apenas 4,4% das empresas da base encontravam-se na Geração 4, enquanto 76,8% encontravam-se nas Gerações 1 e 2. Em relação aos demais estados, o percentual de empresas nas gerações digitais iniciais em Minas Gerais era inferior ao do Paraná (79,9%), mas superior ao observado no Rio Grande do Sul (66,7%) e em Santa Catarina (64,3%).

**Gráfico 6- Uso das tecnologias digitais em 2020 por Geração Digital - Brasil, Minas Gerais e Estados Selecionados (%)**



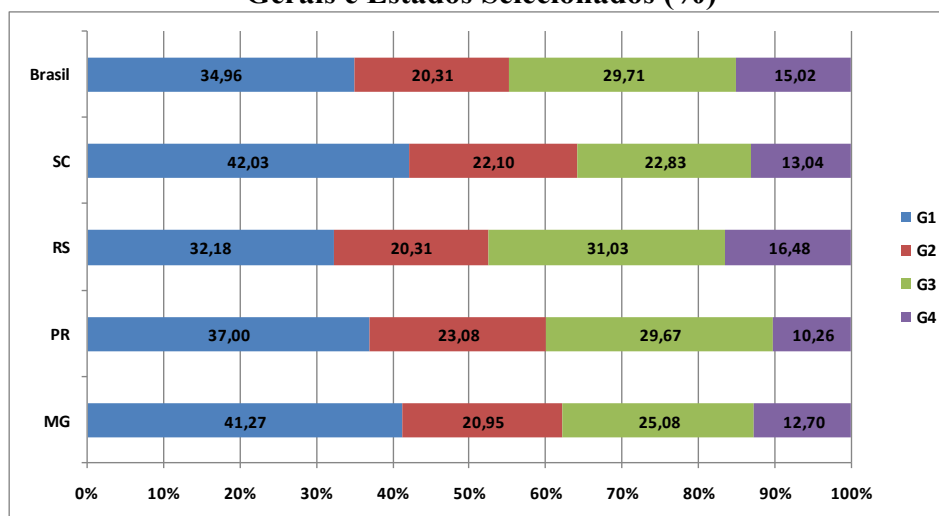
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030

Uma vez constatada a baixa difusão atual de tecnologias disruptivas, tanto para o conjunto da indústria brasileira, como para as empresas industriais de Minas Gerais, é importante avaliar qual a expectativa das empresas acerca da difusão futura dessas tecnologias tendo como referência uma projeção para o ano de 2030. O **Gráfico 7** apresenta essas informações para o conjunto das áreas

organizacionais das empresas do painel. No caso da Geração 4, observa-se um crescimento significativo da intensidade dessa difusão, com uma expectativa de que ela evolua de 5,0% para 15,0% das empresas do painel entre 2020 e 2030. Além disso, o percentual de empresas localizadas na Geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 22,6%, em 2020, para 29,7%, em 2030.

Comparativamente ao conjunto do país, em Minas Gerais a expectativa era que o percentual da geração 4 se elevasse de 4,4% para 12,7% entre 2020 e 2030, enquanto o percentual de empresas localizadas na Geração 3 evoluiria de 18,7%, em 2020, para 25,1%, em 2030. Por outro lado, o percentual de empresas com expectativa de se localizarem nas Gerações 3 e 4 no futuro em Minas Gerais (37,8%) era inferior não somente ao conjunto do país (44,7%) como também em relação às expectativas para Rio Grande do Sul (47,5%) e Paraná (39,9%)

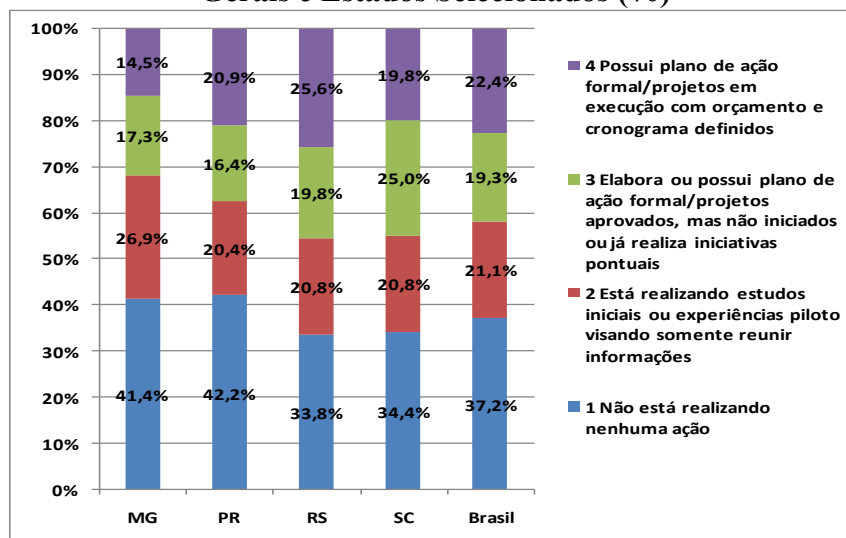
**Gráfico 7 - Uso das tecnologias digitais esperados em 2030 por Geração Digital - Brasil, Minas Gerais e Estados Seleccionados (%)**



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030

As evidências levantadas a partir da pesquisa de campo indicam que a intensidade dos esforços para a incorporação das tecnologias da Geração 4.0 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada na indústria brasileira, conforme ilustrado pelo **Gráfico 8**. Para o conjunto das atividades, considerando a composição das diversas áreas organizacionais, o percentual de empresas que relatavam esforços que contemplam efetivamente ações em execução atingia 19,3%; contudo, se forem consideradas também as empresas com projeto aprovado, mas não iniciado, esse percentual elevava-se a 41,7%. Em Minas Gerais estes percentuais atingiam, respectivamente, 17,3% e 31,7%, ou seja, inferior à média nacional e aos demais estados seleccionados. Já o percentual de empresas que não estava realizando nenhuma ação atingia 41,4% em Minas Gerais, sendo superior ao conjunto do país (37,2%), bem como ao observado nos estados de Santa Catarina (34,4%) e Rio Grande do Sul (33,8%). Em linhas gerais, essas informações corroboram a constatação de que, não obstante a expectativa de aceleração da difusão de Tecnologias 4.0 e do seu impacto potencial sobre os diferentes atributos da competitividade, o esforço efetivamente realizado pelas empresas visando à incorporação dessas tecnologias é ainda bastante limitado. Esta tendência, observada para o conjunto do país, parece ser ainda mais forte no estado de Minas Gerais, sinalizando no sentido da necessidade de se criarem condições mais adequadas à intensificação daqueles esforços.

**Gráfico 8- Participação do nível de prontidão digital em relação ao total - Brasil, Minas Gerais e Estados Selecionados (%)**



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030

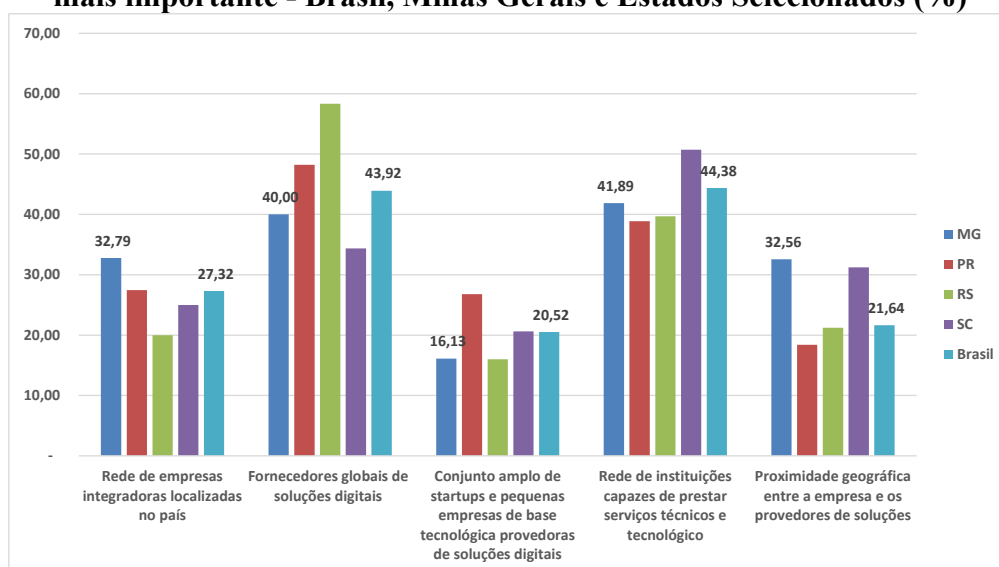
#### 4. Fatores Condicionantes da Adoção de Tecnologias de Base Digital na indústria em Minas Gerais

De maneira a compreender melhor os fatores que condicionam a intensidade dos esforços das empresas industriais na direção de uma maior intensidade do processo de digitalização, é possível considerar aspectos relacionados ao ambiente (ecossistema) no qual operam estas empresas, bem como os fatores relacionados ao impacto sobre emprego e qualificações. Esta seção procura discutir estes aspectos articulando informações sobre a percepção das empresas acerca desses fatores levantadas no Projeto I-2030 - com foco especial em empresas de Minas Gerais comparativamente ao conjunto do país a estados selecionados - com informações extraídas de fontes secundárias que possibilitam ilustrar estes aspectos.

##### 4.1. Ecossistema Condicionante da Adoção de Tecnologias de Base Digital

Um primeiro aspecto possível de ser considerado como condicionante da adoção de tecnologias de base digital levantado no Projeto I-2030 refere-se à importância atribuída pelas empresas a diversos atributos relacionados às Redes de Inovação e Provedores de Soluções. Neste sentido, o **Gráfico 9** identifica, para o conjunto do Brasil, Minas Gerais e estados selecionados, o percentual de empresas com respostas válidas que identificaram diferentes atributos como o mais importante. Nesse caso, destacam-se com maior percentual a presença de "Fornecedores globais de soluções digitais" e de "Rede de instituições capazes de prestar serviços técnicos e tecnológicos". No caso específico de Minas Gerais, apesar destes fatores também se destacarem como aqueles nos quais o percentual de "mais importante" apresentava-se mais elevado, é possível destacar o percentual relativamente mais elevado de dois fatores mais diretamente relacionados a condições de natureza mais geográfica: i) "Proximidade geográfica entre a empresa e os provedores de soluções" com percentual de 32,6% de identificação como fator "mais importante" nas respostas válidas no estado, contra 21,6% para o conjunto do país; ii) "Rede de empresas integradoras localizadas no país" com percentual de 32,8% de identificação como fator "mais importante" nas respostas válidas no estado, contra 27,3% para o conjunto do país.

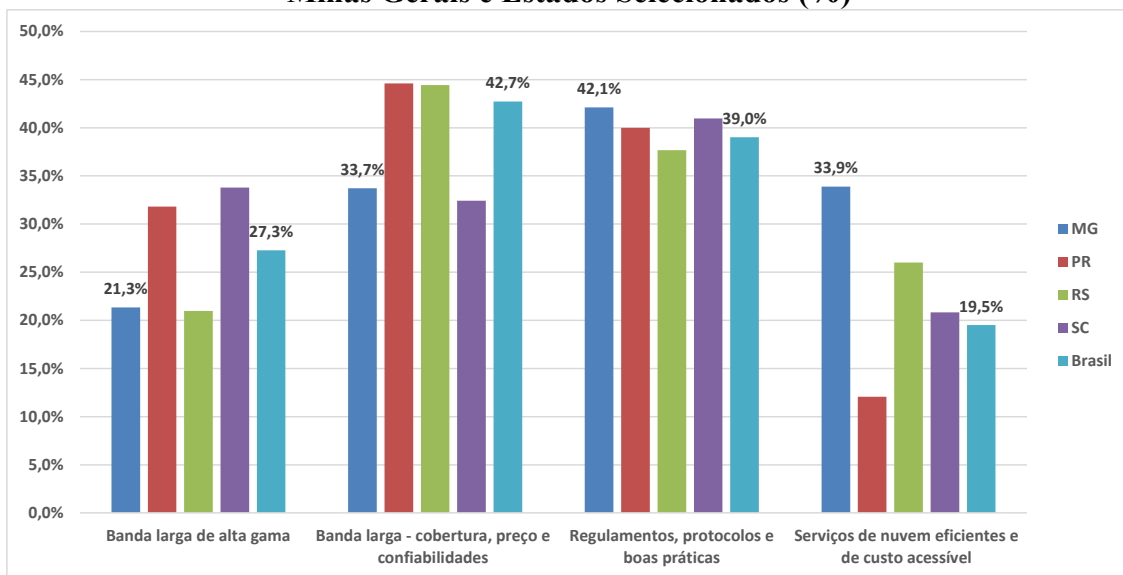
**Gráfico 9- Importância de atributos relacionados às Redes de Inovação e Provedores de Soluções: percentual de empresas com respostas válidas que identificaram atributo como o mais importante - Brasil, Minas Gerais e Estados Seleccionados (%)**



**Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030**

Outro aspecto considerado como condicionante no âmbito do Projeto I-2030 refere-se à importância atribuída pelas empresas a diversos fatores relacionados à Infraestrutura Digital. Neste sentido, o **Gráfico 10 identifica**, para o conjunto do Brasil, Minas Gerais e estados seleccionados, o percentual de empresas com respostas válidas, que identificaram diferentes atributos como o "mais importante". Aqueles fatores com maior percentual foram "Regulamentos, protocolos e boas práticas" e "Redes de banda larga com cobertura, preço e confiabilidades". No caso específico de Minas Gerais, apesar destes fatores também se destacarem como aqueles com um percentual mais elevado de "mais importante", é possível mencionar o percentual relativamente mais elevado atribuído à presença de "Serviços eficientes e de custo acessível para armazenamento e processamento em nuvem", avaliado como fator "mais importante" por 33,9% das empresas com respostas válidas, contra 19,5% das empresas com respostas válidas para o conjunto do país.

**Gráfico 10 - Importância de atributos relacionados à Infraestrutura Digital: percentual de empresas com respostas válidas que identificaram atributo como o mais importante - Brasil, Minas Gerais e Estados Seleccionados (%)**

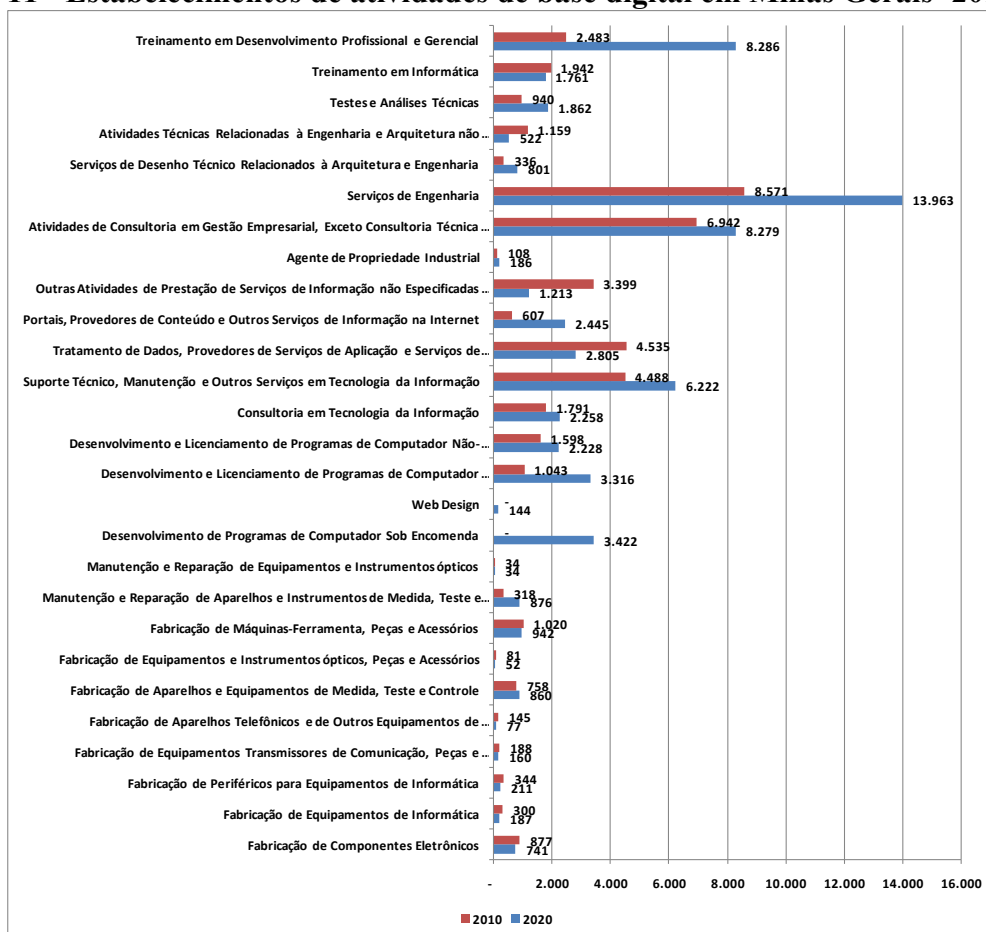


**Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030**

As evidências coletadas pelo Projeto I-2030 junto a empresas industriais de Minas Gerais sugere uma expressiva "importância" atribuída a fatores vinculados a um "ecossistema" local de produção de soluções digitais possíveis de serem incorporadas pelas empresas, conforme evidenciado pela maior importância relativa atribuída a fatores como a "Proximidade geográfica entre a empresa e os provedores de soluções", "Redes de empresas integradoras localizadas no país" e à disponibilidade de "Serviços eficientes e de custo acessível para armazenamento e processamento em nuvem". Partindo da hipótese de que a atualização digital de empresas industriais de Minas Gerais parece ser bastante "sensível" em relação à presença de um "ecossistema" local mais bem estruturado, capaz de prover estas soluções, procurou-se considerar, a partir de bases de informações secundárias, a disponibilidade local de uma base de empresas capazes de proverem estas soluções, seja em termos de equipamentos (hardware), softwares e serviços técnicos especializados.

Visando avaliar a presença no estado de empresas capazes de proverem estas soluções, procurou-se realizar um levantamento a partir de dados da RAIS, para identificar a presença dessas empresas. Neste sentido, foram selecionadas 27 atividades ao nível das "subclasses" da CNAE com potencial de proverem estas soluções em termos de equipamentos (hardware), softwares e serviços técnicos especializados, listadas no **Gráfico 11**. Entre 2010 e 2020, o número de estabelecimentos vinculados àquelas atividades evoluiu de 44.007 para 63.853 estabelecimentos, correspondendo a um crescimento de 45,1%. Dentre as atividades com maior crescimento no período, destacam-se as de Serviços de Engenharia; Desenvolvimento de Programas de Computador Sob Encomenda; Desenvolvimento e Licenciamento de Programas de Computador Customizáveis; Portais, Provedores de Conteúdo e Outros Serviços de Informação na Internet; Testes e Análises Técnicas..

**Gráfico 11 - Estabelecimentos de atividades de base digital em Minas Gerais- 2010 e 2020**

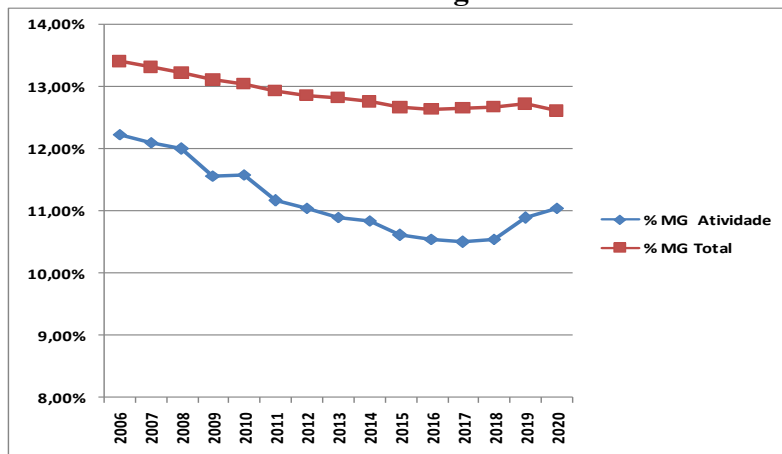


**Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS**

O **Gráfico 12** apresenta a evolução da participação de Minas Gerais no total de estabelecimentos e em estabelecimentos de atividades de base digital, entre 2006-2020. Enquanto para o total de estabelecimentos a tendência é de uma queda regular dessa participação, que evolui de 13,40% em 2006 para 12,61% em 2020, no caso de atividades de base digital, a participação cai de forma mais pronunciada entre 2006 e 2017, com retomada de uma trajetória de crescimento posteriormente. Comparativamente a outros estados selecionados e ao conjunto do país, o **Gráfico 13** aponta uma queda da participação das atividades de base digital no total de atividades em Minas Gerais entre 2006 e 2014 (de 1,42% para 1,26%), a qual se apresenta mais pronunciada do que em outros estados, comparativamente a um crescimento mais pronunciado entre 2015 e 2020 (de 1,34% para 1,66%). No entanto, apesar do crescimento dessa participação em Minas Gerais no período mais recente, a mesma em 2020 (1,66%) ainda localizava-se abaixo da média nacional (1,90%) e expressivamente abaixo da média de São Paulo (2,42%) e Santa Catarina (2,14%), evidenciando que há espaço para o crescimento e a sofisticação do "ecossistema" de atividades de base digital em Minas Gerais, o qual pode operar como um importante fator indutor da aceleração do processo de digitalização de empresas industriais, conforme sugerido por evidências do projeto I-2030.

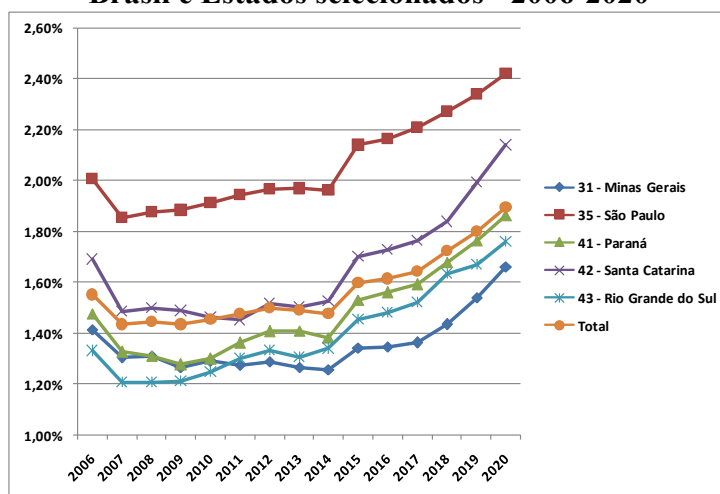


**Gráfico 12 - Participação de Minas Gerais em total de estabelecimentos e em estabelecimentos de atividades de base digital- 2006-2020**



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS

**Gráfico 13 - Participação de atividades de base digital no total de atividades - Minas Gerais, Brasil e Estados selecionados - 2006-2020**



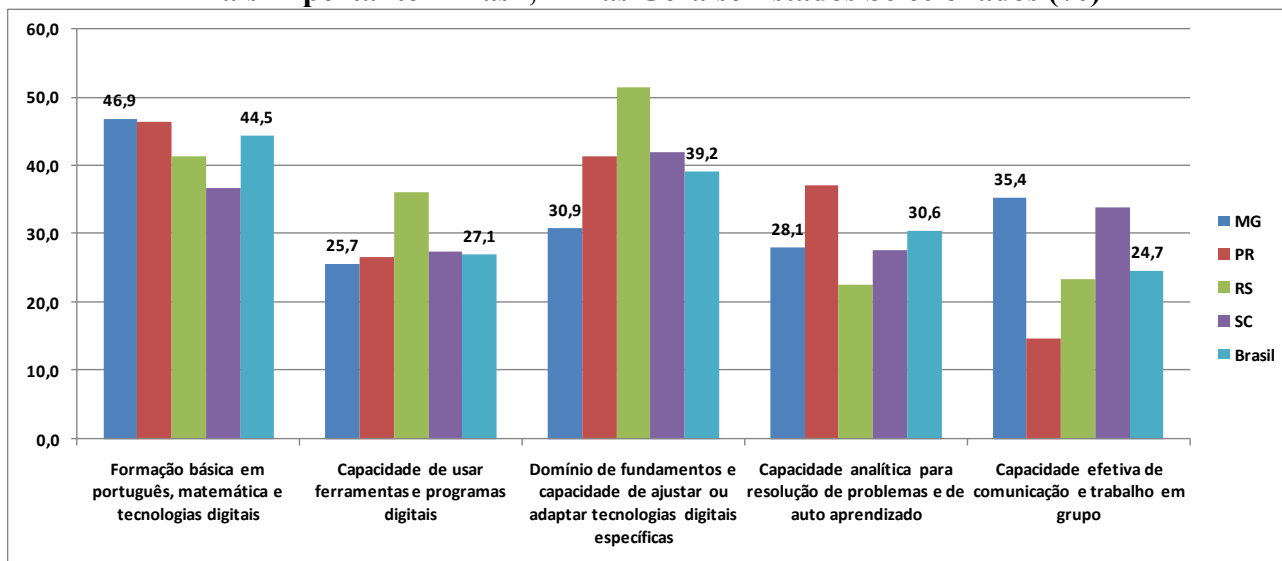
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS

#### 4.2. Digitalização: Requerimentos em termos de Qualificação da mão-de-obra

Dentro de uma perspectiva que considera a importância de fatores relacionados ao "ecossistemas" no qual operam as empresas como condicionantes da adoção de tecnologias de base digital, o Projeto I-2030 procurou também contemplar a visão das empresas sobre a importância de atributos relacionados ao sistema educacional e de formação profissional. Neste sentido, o **Gráfico 14** identifica, para o conjunto do Brasil, Minas Gerais e estados selecionados, o percentual de empresas com respostas válidas que identificaram diferentes aspectos relacionado ao sistema educacional e de formação profissional como o "mais importante". Apresentam-se como atributos com maior percentual de respostas válidas a "Formação básica em português, matemática e tecnologias digitais" e o "Domínio de fundamentos e capacidade de ajustar ou adaptar tecnologias digitais específicas", evidenciando que as empresas valorizam a importância do sistema educacional e de formação profissional para a formação de competências e habilidades de natureza mais "básica". No caso específico de Minas Gerais, se destacou com expressivo percentual de "mais importante" a "Formação básica em português, matemática e tecnologias digitais" (46,9% no estado contra 44,5 para o conjunto do país). O segundo fator com maior percentual de "mais importante" em Minas Gerais era a "Capacidade efetiva de comunicação e trabalho em grupo", com 35,4% no estado, contra 24,7% para

o conjunto do país. Estes aspectos apontam para demandas específicas a serem supridas pelo sistema educacional e de formação profissional.

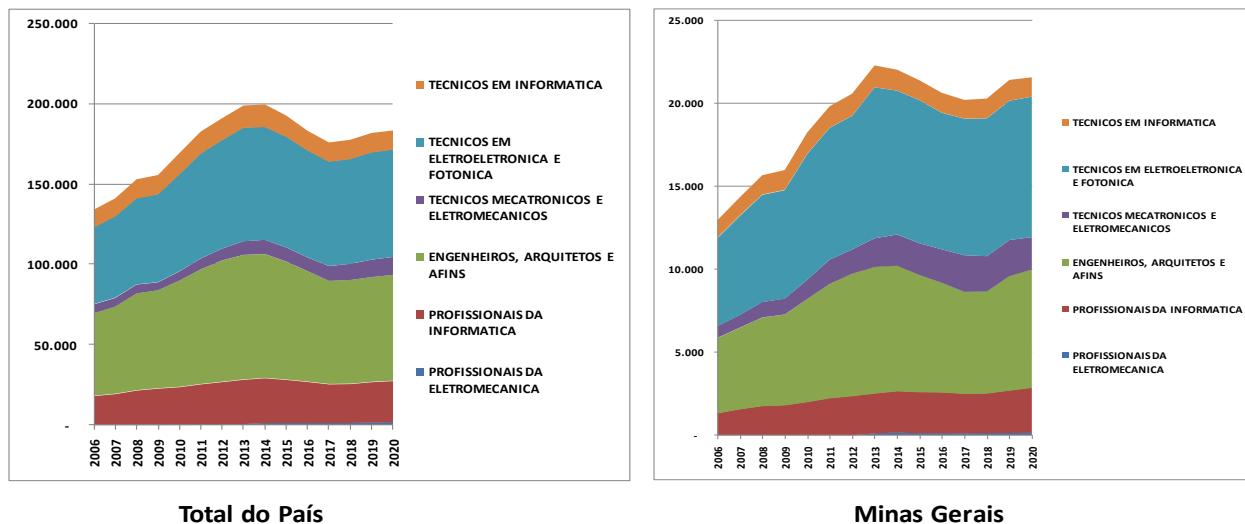
**Gráfico 14- Importância de atributos relacionados ao sistema educacional e de formação profissional: percentual de empresas com respostas válidas que identificaram atributo como o mais importante - Brasil, Minas Gerais Estados Selecionados (%)**



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Projeto I-2030

De modo a avaliar o quadro geral em termos das capacitações profissionais na indústria adaptadas aos requisitos da revolução digital, particularmente no estado de Minas Gerais, procurou-se também considerar algumas fontes adicionais de informação. Como ponto de partida, considerou-se uma classificação ampla de ocupações de base digital na indústria ao longo do período 2006-2020, selecionando-se seis Subgrupos de ocupações (classificação a 3 dígitos), definidos a partir do Código Brasileiro de Ocupações (CBO): 1) Profissionais da Eletromecânica; 2) Profissionais da Informática; 3) Engenheiros, Arquitetos e Afins; 4) Técnicos Mecatrônicas e Eletromecânicos; 5) Técnicos em Eletroeletrônica e Fotônica; 6) Técnicos em Informática. O **Gráfico 15** ilustra a evolução dos empregos nestas ocupações entre 2006-2020 para o setor industrial, no total do país e em Minas Gerais. Enquanto para o conjunto do país estes empregos se elevaram de 134.531 para 183.828, correspondendo a um crescimento de 36,6%, em Minas Gerais o crescimento foi de 66,8%. O resultado em Minas Gerais foi particularmente pronunciado entre 2006 e 2013, com crescimento de 72,4% contra 48,2% para o conjunto do país; já entre 2014-2020, o emprego naquelas ocupações decaiu 2,1% no estado contra uma queda de 8,1% para o Brasil. Em termos de CBOs relevantes para Minas Gerais, há o crescimento dos grupos de Profissionais da Informática (103,2% no estado, contra 42,2% para o conjunto do país) e de Técnicos Mecatrônicas e Eletromecânicos (179,2% no estado, contra 104,5% no país).

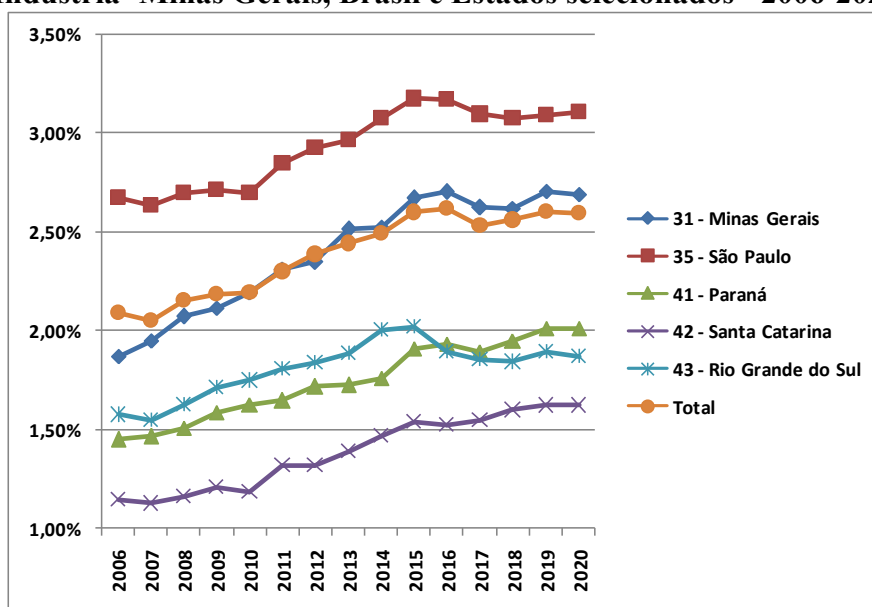
**Gráfico 15 - Evolução de Empregos (Ocupações) de Base Digital na Indústria - Brasil e Minas Gerais- 2006-2020**



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS

Em razão desse maior dinamismo, a participação de Minas Gerais no total do Brasil em termos de empregos (ocupações) de Base Digital na indústria - captados a partir dos CBOs selecionados - se elevou continuamente entre 2006-2020, evoluindo de 9,62% em 2006 para 11,75% em 2020, correspondendo a um crescimento de 22,09% na participação; resultado mais expressivo do aquele encontrado para a participação em relação ao emprego industrial como um todo. O **Gráfico 16** apresenta a evolução da participação de ocupações de Base Digital da indústria no total de empregos industriais para Minas Gerais, Brasil e estados selecionados entre 2006-2020. No caso de Minas Gerais essa participação evoluiu de 1,87% em 2002 para 2,70% em 2016, se estabilizando no período posterior. Desse modo, o estado de Minas Gerais saiu de um patamar abaixo da média nacional em 2002 (2,09%) para um patamar acima em 2016 (2,62%). Estas evidências sugerem que está em curso, de forma lenta, um processo de digitalização progressiva de empregos industriais em Minas Gerais, aparentemente a um ritmo mais intenso que para o conjunto do país.

**Gráfico 16- Participação de Ocupações de Base Digital da Indústria no Total de Empregos da Indústria- Minas Gerais, Brasil e Estados selecionados - 2006-2020**



Fonte: Elaboração própria com base nos dados da RAIS

Conforme apontado pelas informações coletadas no Projeto I-2030, um dos fatores condicionantes do ritmo de digitalização na indústria é a disponibilidade de uma oferta de mão de obra com nível adequado de qualificações. Visando contemplar este aspecto, procurou-se considerar a oferta de profissionais qualificados ao nível de graduação e pós-graduação em Minas Gerais, comparativamente ao Brasil e a estados selecionados. Neste sentido, o **Quadro 3** apresenta a situação em termos de concluintes em cursos de graduação selecionados para Minas Gerais, Brasil e outros estados selecionados no ano de 2017 com base em informações do Censo de Educação Superior do MEC-INEP. Especificamente, foram consideradas duas grandes áreas - Ciências, matemática e computação e Engenharia, produção e construção - e, dentro dessas grandes áreas, duas áreas de especialização específicas - Ciência da computação, no caso da primeira, e Eletrônica e Automação, no caso da segunda. As informações apontam para uma maior participação relativa de Minas Gerais na grande área de Engenharia, produção e construção (15,8% dos Concluintes) e, dentro dela, na área de Eletrônica e automação (14,6%). Participações expressivas também podem ser encontradas na área de Ciência da computação (11,2%). Todas essas participações localizavam-se acima daquelas observadas para o conjunto dos cursos de graduação, sugerindo uma maior especialização relativa da Educação Superior em Minas Gerais na direção de áreas de conhecimento condizentes com formação de habilidades STEM exigida pela incorporação de tecnologias de base digital na indústria.

**Quadro 3 - Matrículas, Ingressos e Concluintes em Cursos de Graduação Selecionados - Minas Gerais e outros estados selecionados - 2017**

	QT CONCLUINTEs - Ciência da computação	QT CONCLUINTEs - Ciências, matemática e computação Total	QT CONCLUINTEs - Eletrônica e automação	QT CONCLUINTEs - Engenharia, produção e construção Total	QT CONCLUINTEs - Total geral
<b>MG</b>	<b>2.210</b>	<b>5.130</b>	<b>1.029</b>	<b>13.650</b>	<b>84.872</b>
PR	850	3.516	415	5.754	58.998
RS	916	2.892	281	4.215	46.050
SC	728	1.577	226	4.115	30.675
SP	7.905	20.596	3.307	30.058	248.939
<b>Total</b>	<b>19.685</b>	<b>53.194</b>	<b>7.052</b>	<b>86.357</b>	<b>840.728</b>
<b>% MG</b>	<b>11,23%</b>	<b>9,64%</b>	<b>14,59%</b>	<b>15,81%</b>	<b>10,10%</b>

**Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo de Educação Superior(MEC-INEP)**

O **Quadro 4** complementa o anterior, apresentando informações básicas sobre a Pós-Graduação - Número de Programas, Número de Docentes, Número de Discentes, Número de Doutorandos, Titulados Totais, Titulados de Doutorado- para o conjunto da Pós-Graduação e para quatro áreas selecionadas - Ciência da Computação, Matemática/Probabilidade e Estatística, Engenharias III e Engenharias IV - para o ano de 2020, extraídos da base GEOCAPES. Em particular, observa-se que a participação destas áreas de conhecimento na Pós-Graduação em Minas Gerais era superior à observada no caso brasileiro principalmente em termos de Número de Doutorandos (10,85% no estado contra 9,51% no país) e em número de Titulados de Doutorado (9,79% no estado contra 8,00% no país). Já a participação de Minas Gerais no conjunto da Pós-Graduação nacional para as áreas selecionadas se destacava principalmente no caso Titulados Totais (11,7%) e Titulados de Doutorado (12,5%). Dentre as diversas áreas selecionadas, cabe destacar, em especial, a área de Engenharias IV, com maior participação de Minas Gerais em termos de Titulados Totais (14,6%), Número de Doutorandos (14,7%) e Número de Discentes (15,2%). Estas informações sugerem que o estado de Minas Gerais possui uma infraestrutura de Pós-Graduação relativamente especializadas em algumas áreas com potencial para formação de profissionais com qualificação adequada para o envolvimento a digitalização de atividades industriais, desde que haja uma efetiva articulação entre o setor produtivo e a infraestrutura de Pós-Graduação nessa direção.

#### Quadro 4 - Informações Básicas da Pós-Graduação - Minas Gerais, estados selecionados e total do Brasil -2020

	MG	PR	RS	SC	SP	Total	% MG
<b>Número de Programas</b>							
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	9	8	8	3	12	86	10,5%
MATEMÁTICA/PROB.EESTATÍSTICA	6	3	4	1	18	60	10,0%
ENGENHARIASIII	12	13	13	7	33	128	9,4%
ENGENHARIASIV	10	10	8	7	23	94	10,6%
<b>Subtotal</b>	<b>37</b>	<b>34</b>	<b>33</b>	<b>18</b>	<b>86</b>	<b>368</b>	<b>10,1%</b>
Total geral	472	371	431	186	917	4.559	10,4%
Participação Sub total	7,84%	9,16%	7,66%	9,68%	9,38%	8,07%	0,97
<b>Número de Docentes</b>							
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	171	148	190	57	361	1.930	8,9%
MATEMÁTICA/PROB.EESTATÍSTICA	237	171	93	73	838	2.773	8,5%
ENGENHARIASIII	187	185	200	201	915	2.611	7,2%
ENGENHARIASIV	250	185	119	126	608	1.966	12,7%
<b>Subtotal</b>	<b>845</b>	<b>689</b>	<b>602</b>	<b>457</b>	<b>2.722</b>	<b>9.280</b>	<b>9,1%</b>
Total geral	9.369	6.573	8.068	3.468	23.509	95.246	9,8%
Participação Sub total	9,02%	10,48%	7,46%	13,18%	11,58%	9,74%	0,93
<b>Número de Discentes</b>							
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	1.019	642	1.004	193	1.821	9.971	10,2%
MATEMÁTICA/PROB.EESTATÍSTICA	608	355	164	139	1.852	6.259	9,7%
ENGENHARIASIII	1.093	1.146	951	761	4.075	12.847	8,5%
ENGENHARIASIV	1.609	734	631	663	3.187	10.617	15,2%
<b>Subtotal</b>	<b>4.329</b>	<b>2.877</b>	<b>2.750</b>	<b>1.756</b>	<b>10.935</b>	<b>39.694</b>	<b>10,9%</b>
Total geral	40.003	29.284	36.328	16.049	92.113	395.870	10,1%
Participação Sub total	10,82%	9,82%	7,57%	10,94%	11,87%	10,03%	1,08
<b>Número de Doutorandos</b>							
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	314	188	352	57	707	3.354	9,4%
MATEMÁTICA/PROB.EESTATÍSTICA	148	77	67	33	765	1.831	8,1%
ENGENHARIASIII	486	429	275	239	1.631	4.695	10,4%
ENGENHARIASIV	603	220	220	254	1.368	4.113	14,7%
<b>Subtotal</b>	<b>1.551</b>	<b>914</b>	<b>914</b>	<b>583</b>	<b>4.471</b>	<b>13.993</b>	<b>11,1%</b>
Total geral	14.292	9.975	14.677	5.989	40.545	147.105	9,7%
Participação Sub total	10,85%	9,16%	6,23%	9,73%	11,03%	9,51%	1,14
<b>Titulados Totais</b>							
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	179	109	207	40	300	1.627	11,0%
MATEMÁTICA/PROB.EESTATÍSTICA	152	59	21	28	281	1.225	12,4%
ENGENHARIASIII	192	197	186	139	714	2.114	9,1%
ENGENHARIASIV	307	183	126	116	659	2.099	14,6%
<b>Subtotal</b>	<b>830</b>	<b>548</b>	<b>540</b>	<b>323</b>	<b>1.954</b>	<b>7.065</b>	<b>11,7%</b>
Total geral	8.566	6.559	7.217	3.194	18.702	80.114	10,7%
Participação Sub total	9,69%	8,35%	7,48%	10,11%	10,45%	8,82%	1,10
<b>Titulados de Doutorado</b>							
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO	35	23	45	9	90	358	9,8%
MATEMÁTICA/PROB.EESTATÍSTICA	27	11	5	3	96	228	11,8%
ENGENHARIASIII	69	48	27	25	185	501	13,8%
ENGENHARIASIV	70	38	22	38	176	519	13,5%
<b>Subtotal</b>	<b>201</b>	<b>120</b>	<b>99</b>	<b>75</b>	<b>547</b>	<b>1.606</b>	<b>12,5%</b>
Total geral	2.053	1.491	2.013	754	5.876	20.066	10,2%
Participação Sub total	9,79%	8,05%	4,92%	9,95%	9,31%	8,00%	1,22

Fonte: Elaboração própria com base nos dados da GEOCAPES

## 5. Conclusões

De uma maneira geral, as evidências levantadas com base no Projeto I-2030, não indicam diferenças substanciais entre a percepção Atual e Futura relativa à adoção de Tecnologias Digitais na indústria de Minas Gerais comparativamente ao conjunto do país e determinados estados selecionados. Apesar dessa semelhança geral, verifica-se uma participação menor de empresas em G4 do que a média obtida para o Brasil e uma participação relativa maior de empresas em estágios mais atrasados de digitalização (G1 e G2). Com relação à perspectiva futura de adoção digital, impera um certo otimismo por parte das empresas brasileiras no geral e nas de Minas Gerais em particular. Há uma tendência em ambos os casos de uma maior participação de empresas adotando tecnologias compatíveis com G4. Já em termos dos esforços realizados para alcançar a geração digital pretendida, 37,2% das empresas brasileiras disseram não estar realizando nenhuma ação em prol de uma maior digitalização. Esse patamar é ainda maior no caso das empresas mineiras entrevistadas (41,4%). Essas informações corroboram a constatação de que o esforço efetivamente realizado pelas empresas visando a incorporação dessas tecnologias é ainda bastante limitado, tendência observada para o conjunto do país, mas que parece ser ainda mais forte no estado de Minas Gerais, sinalizando no sentido da necessidade de se criarem condições mais adequadas à intensificação desses esforços.

A análise realizada procurou também considerar alguns fatores condicionantes do processo de digitalização de empresas industriais considerados no Projeto I-2030. Em termos de aspectos

relacionados ao ambiente (ecossistema) no qual operam as empresas, as evidências apontam para um maior peso relativo de alguns fatores diretamente relacionados a condições de natureza mais localizada: a "Proximidade geográfica entre a empresa e os provedores de soluções", a presença de uma "Rede de empresas integradoras localizadas no país" e a disponibilidade de "Serviços eficientes e de custo acessível para armazenamento e processamento em nuvem". Considerando que a atualização digital de empresas industriais de Minas Gerais parece ser bastante "sensível" em relação às condições do "ecossistema" local, procurou-se considerar, através de informações secundárias, a disponibilidade local de uma base de empresas capazes de proverem estas soluções, seja em termos de equipamentos (hardware), softwares e serviços técnicos especializados. Neste sentido, constata-se que a participação de Minas Gerais no total de estabelecimentos de atividades de base digital selecionadas cai de forma mais pronunciada entre 2006 e 2017, retomando o crescimento nos últimos anos da série.

Comparativamente a outros estados selecionados e ao conjunto do país, há evidências de uma queda da participação das atividades de base digital no total de atividades em Minas Gerais entre 2006 e 2014, mais pronunciada do que em outros estados, comparativamente a um crescimento mais representativo entre 2015 e 2020. No entanto, apesar do crescimento dessa participação em Minas Gerais no período mais recente, a mesma em 2020 ainda localizava-se abaixo da média nacional e expressivamente abaixo da média de São Paulo e Santa Catarina, evidenciando que há espaço para o crescimento e a sofisticação do "ecossistema" de atividades de base digital em Minas Gerais, o qual pode operar como um importante fator indutor da aceleração do processo de digitalização de empresas industriais, conforme sugerido por evidências do projeto I-2030.

Ainda em termos de construção de um "ambiente digital", coletou-se informações acerca da capacitação de mão-de-obra voltada para a atuação nesse cenário específico. De acordo com os dados da pesquisa de campo, dentre as "habilidades" requeridas para a força de trabalho, destaca-se, no caso específico de Minas Gerais, o percentual de "mais importante" atribuído às "Habilidades STEM". Já em relação aos fatores relacionados ao sistema educacional e de formação profissional, para Minas Gerais destaca-se a "Formação básica em português, matemática e tecnologias digitais" acompanhado pela "Capacidade efetiva de comunicação e trabalho em grupo". Estes aspectos apontam para demandas específicas a serem supridas pelo sistema educacional e de formação profissional.

Visando avaliar o quadro geral em termos das capacitações profissionais na indústria adaptados aos requisitos da revolução digital, procurou-se também considerar algumas fontes adicionais de informação. Por um lado, as evidências coletadas apontam para um crescimento mais pronunciado das ocupações digitais na indústria em Minas Gerais entre 2006-2020, comparativamente ao conjunto do país, com destaque para o crescimento dos grupos de Profissionais da Informática e de Técnicos Mecatrônicas e Eletromecânicos, fazendo com que a participação de ocupações de Base Digital no total de empregos industriais evoluísse de um patamar abaixo da média nacional em 2002 para um patamar acima dessa média em 2016, sinalizando na direção de um processo de digitalização progressiva de empregos industriais em Minas Gerais. Por outro lado, procurou-se considerar a disponibilidade de uma oferta de mão de obra com nível adequado de qualificações, através da avaliação da oferta de profissionais qualificados ao nível de graduação e pós-graduação em Minas Gerais, comparativamente ao Brasil e a estados selecionados. Neste sentido, em termos da formação ao nível de graduação, há evidências de uma maior especialização relativa da Educação Superior em Minas Gerais na direção de áreas de conhecimento condizentes com a formação de habilidades STEM exigida pela incorporação de tecnologias de base digital na indústria. Já em termos da formação em nível de pós-graduação, há evidências sobre a presença, em Minas Gerais, de uma infraestrutura de Pós-Graduação relativamente especializada em algumas áreas com potencial para formação de profissionais com qualificação adequada para o processo de digitalização de atividades industriais, desde que haja uma efetiva articulação entre o setor produtivo e a infraestrutura de Pós-Graduação nessa direção.

De um maneira geral, as evidências levantadas indicam que, não obstante o nível atual ainda limitado de digitalização na indústria mineira, há evidência de uma maior sensibilidade das empresas locais em relação a fatores relacionados ao "ecossistema" local que podem atuar como fatores aceleradores desse processo, como a proximidade geográfica entre empresas e provedores de soluções, a disponibilidade de uma base local de fornecedores de serviços especializados e a disponibilidade de uma infraestrutura para formação de pessoal com nível adequado de qualificação. O papel desses fatores reforça a importância das articulações entre empresas industriais, sistema local de C&T e provedores de serviços especializados, bem como do apoio direcionado das políticas públicas para o fortalecimento efetivo daquele "ecossistema".

Neste sentido, a contextualização da evolução recente da indústria de Minas Gerais comparativamente ao conjunto do país foi também importante, pois aponta para um fortalecimento da posição do estado no período mais recente que, por sua vez, pode ser fortalecida e ganhar maior sustentabilidade em função do processo de digitalização. Por fim, cabe ressaltar a natureza exploratória e um tanto impressionista-especulativa do estudo realizado. Como avanço possível, cabe ressaltar a utilização de ferramentas e critérios mais elaborados para a classificação das empresas em função dos estágios de digitalização atual e futuro, considerando também os esforços realizados para sustentar essa evolução, aplicando este tipo de recorte a uma análise regionalizada do processo de digitalização. Além disso, uma análise mais rigorosa dos fatores condicionantes do processo de digitalização da indústria - seja utilizando informações coletadas no Projeto I-2030 como em fontes adicionais de informação - pode contribuir para captar tendências e apontar desafios para o avanço do processo de digitalização na indústria de Minas Gerais.

## Referências Bibliográficas

ALBRIEU, R. et al. (2019b) *The adoption of digital technologies in developing countries: Insights from firm-level surveys in Argentina and Brazil*. Department of Policy, Research and Statistics UNIDO, Vienna, Working Paper 6/2019.

ANDREONI, A.; ANZOLIN, G. (2019). *A revolution in the making? Challenges and opportunities of digital production technologies for developing countries*. Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series WP7 UNIDO - United Nations Industrial Development Organization, Vienna

ARBIX, G.; SALERNO, M.S.; ZANCUL, E. AMARA, G.; LINS, L.M.O Brasil e a Nova Onda de Manufatura Avançada: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. Novos Estudos CEBRAP, SÃO PAULO, V36.03, 29-49, novembro 2017

CARMONA, R.; AMATO NETO, J.; ASCÚA, R. Indústria 4.0 en empresas manufactureras del Brasil. Documentos de Proyectos (LC/TS.2020/136), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2020

CEPAL-ECLAC (2021)- Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe. *Digital technologies for a new future* (LC/TS.2021/43), Santiago, 2021.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. A difusão das tecnologias da indústria 4.0 em empresas brasileiras / Brasília : CNI, 54 p. 2020.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Indústria. Desafios para a indústria 4.0 no Brasil / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 34 p., 2016.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Investimentos em indústria 4. Brasília : CNI, 31 p, 2018.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. Oportunidades para a indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil. Brasília : CNI, 58 p.2017

FERRAZ, J. C. ; KUPFER, D. ; TORRACCA, JULIA ; BRITTO, JORGE N. P. . Snapshots of a state of flux: how Brazilian industrial firms differ in the adoption of digital technologies and policy implications. *Journal of Economic Policy Reform* , v. 22, p. 1-18, 2019.

FERRAZ, J. C. ; SOUZA, F. E. P. ; KUPFER, D. . Trayectorias para el desarrollo brasileo. *Boletín Informativo Techint* , v. 333, p. 39-54, 2010

- FERRAZ, J. C. heterogeneidade tecnológica da indústria brasileira: perspectivas e implicações para política, R. Bras. Econ. Rio de Janeiro v.43 p\_ 373-92 jul./set. 1989
- FRANK, A.G. Indústria 4.0- Mapeamento das tecnologias: Relatório Geral O, Núcleo de Engenharia Organizacional (NEO) -UFRS, Outubro, 2018
- FRANK, A.G.; DALENOGAREB, L.S; AYAL, N.F. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*,210 pp 15–26, 2019
- IEL ET AL. *Indústria 2027: Riscos e oportunidades para o Brasil frente às inovações disruptivas: Síntese dos Resultados: Construindo o futuro da indústria brasileira*.Brasília: IEL/NC, 2018.
- KPMG Indústria 4.0 no Brasil: Cenários e Perspectivas.Outubrode 2021
- KUPFER, D.; ROCHA, F.. Productividad y heterogeneidad estructural en la industria brasileña. In: CIMOLI, Mario (Ed.). Heterogeneidad estructural, asimetrías tecnológicas y crecimiento en América Latina. Santiago: CEPAL, 2005
- MCKINSEY BRASIL . Transformações digitais no Brasil:: Insights sobre o nível de maturidade digital das empresas no país. 2019
- PWC Indústria 4.0: Digitalizaçãoomo vantagem competitiva no Brasil. PricewaterhouseCoopers Brasil Ltda. 2016
- WORLD BANK. *The Changing Nature of Work - World Development Report 2019*