



PROJETO “APOIO TÉCNICO E GERENCIAL À PESQUISA DE INOVAÇÃO SEMESTRAL” (PINTEC SEMESTRAL)

INFORME ANALÍTICO Nº 2

TECNOLOGIAS DIGITAIS AVANÇADAS



Ana Urraca-Ruiz

Professora do Departamento de Economia
Universidade Federal Fluminense
Niterói, RJ, Brasil

Julia Torracca

Professora do Instituto de Economia
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Leandro Dias Gomes Carvalho

Estudante de Mestrado
Departamento de Matemática
Universidade Federal do Rio de Janeiro



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Economia da UFRJ

**PROJETO “APOIO TÉCNICO E GERENCIAL À PESQUISA DE
INOVAÇÃO SEMESTRAL (PINTEC SEMESTRAL)**

Informe Analítico II - “Tecnologias Digitais Avançadas”

Ana Urraca-Ruiz

Professora do Departamento de Economia
Universidade Federal Fluminense
Niterói, RJ, Brasil

Julia Torracca

Professora do Instituto de Economia
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Rio de Janeiro, RJ, Brasil

Leandro Dias Gomes Carvalho

Estudante de Mestrado
Departamento de Matemática
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro, julho de 2024

PROJETO “APOIO TÉCNICO E GERENCIAL À PESQUISA DE INOVAÇÃO SEMESTRAL (PINTEC SEMESTRAL)

Coordenação Técnica

Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IE-UFRJ)

Coordenação de Serviços e Comércio da Diretoria de Pesquisas da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (COSEC/DPE/IBGE)

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI)

Equipe de Coordenação

Coordenação Geral da Pesquisa – Alessandro Pinheiro

Coordenação Acadêmica Geral – João Carlos Ferraz

Coordenação Adjunta – Marina Szapiro e Simone Uderman

Gestão Técnica da Pesquisa – Fernanda Vilhena

Gerência Executora da Pesquisa – Flávio Peixoto

Coordenação do Campo – Liliane Brigeiro

Gerência administrativa – Carolina Dias

Assistente – Mithaly Correa

Equipe de Analistas / Especialistas

Especialista em *Survey* – Jorge Britto

Supervisores de Campo – Alexandre Belisário e Celestino Costa

Analistas Juniores – Daniel Cabral, Guilherme Jorge da Silva, Leandro Dias, Leonardo Mangia, Maria Christina Torres, Pedro Rocha e Pétala de Oliveira

Equipe Técnica

Sistemas de Tecnologia de Informação e Comunicação – Beltis Service Brasil e GB Tech Soluções em TI

Design Gráfico – Galadriel Design

Apoio Administrativo

Fundação Universitária José Bonifácio

PESQUISA DE INOVAÇÃO SEMESTRAL
AREA TEMÁTICA: TECNOLOGIAS DIGITAIS AVANÇADAS
INFORME ANALÍTICO

SUMÁRIO

1. Introdução	4
2. Padrões de inovação: determinantes e fatores associados	6
1.1. <i>Diferenças e semelhanças no comportamento inovador: a utilidade analítica dos padrões</i>	6
1.2. <i>O Padrão original de Pavitt</i>	9
1.3. <i>Desenvolvimentos posteriores</i>	17
3. Padrão de digitalização das firmas e sua relação com padrões de inovação	19
3.1 <i>Fatores determinantes da adoção digital</i>	19
3.2 <i>Elementos teóricos associados à construção de um padrão de digitalização</i>	22
4. Retrato da digitalização na indústria brasileira: permeabilidade das tecnologias digitais, extensividade entre funções empresariais, ganhos, motivações e obstáculos	23
4.1 <i>Permeabilidade das tecnologias e extensividade entre funções</i>	24
4.2 <i>Ganhos da digitalização: tecnologias digitais e funções da firma</i>	26
4.3 <i>Fontes da digitalização (facilitadores): tecnologias digitais e funções da firma</i> ..	28
4.4 <i>Obstáculos à digitalização: tecnologias digitais e funções da firma</i>	30
5. Caracterização do processo de adoção de tecnologias digitais avançadas na indústria brasileira	33
5.1 <i>Índice de digitalização</i>	33
5.2 <i>Grau de extensividade das tecnologias digitais avançadas</i>	38
5.3 <i>Foco da trajetória de acumulação tecnológica digital</i>	39
5.4 <i>Fontes ou estímulos à adoção de tecnologias digitais avançadas.</i>	44
5.5 <i>Natureza do obstáculo à digitalização</i>	46
6. Clusters de digitalização	48
6.1 <i>Definição de variáveis</i>	48
6.2 <i>Elaboração do cluster</i>	50
6.3 <i>Análises dos resultados do cluster: o padrão de digitalização</i>	53
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
BIBLIOGRAFIA	61

1. Introdução

Os avanços nas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) vem mudando radicalmente as relações de produção, consumo e comercialização. No bojo dessas transformações e enquanto amadurecimento no uso intensivo das TICs, o conceito de “Indústria 4.0” emerge de maneira a descrever os processos que envolvem a integração e o controle da produção a partir de sensores e equipamentos conectados em redes digitais, bem como a fusão do mundo real com o mundo virtual, criando os chamados sistemas fortemente apoiados no uso da inteligência artificial. Tal conceito ainda incorpora uma vasta gama de inovações em processos industriais, design, produtos, operações e sistemas relacionados à produção, afetando a geração de valor em diferentes níveis organizacionais e ao longo das cadeias de valor. As tecnologias relacionadas com o 4.0 frequentemente são compreendidas pelo seu potencial de gerar profundos impactos nos modelos de negócio, nos drivers competitivos e, conseqüentemente, nas próprias estruturas de mercado (IEL/NC et al, 2018; PORTER E HEPPELMAN, 2015).

A Indústria 4.0 implica também na convergência e integração de diferentes tecnologias de base digital. Segundo Andreoni (2017), essas tecnologias compartilham das seguintes propriedades, quais sejam: i) um impacto “transversal” na medida em que são implantadas em múltiplas cadeias de abastecimento setoriais; ii) o seu alto grau de “integração” por desempenharem um papel crítico nos sistemas tecnológicos integrados; iii) o seu “potencial de melhoria da qualidade”, ou seja, permitem aumentar em algum grau a qualidade dos produtos e dos serviços associados; iv) o seu “potencial de aumento da produtividade” a partir do ganho de eficiência nos processos de produção; v) o seu caráter “estratégico”, uma vez que possui potencial para enfrentar grandes desafios sociais e econômicos futuros.

Logo, entende-se que a base técnica de grande parte das atividades produtivas está e estará em constante mudança, abrindo espaços para diminuição de custos, modificações nos processos de trabalho e no perfil de qualificação da mão de obra, reestruturação dos relacionamentos ao longo das cadeias produtivas, introdução de novos produtos e novos mercados, dentre outros possíveis desdobramentos. Para além do surgimento de inovações específicas, o atual momento “científico e tecnológico” diferencia-se de revoluções tecnológicas do passado exatamente pela ampla, intrincada e complementar convergência entre as chamadas tecnologias digitais, alavancando conjuntos de inovações entendidas como disruptivas.

As inovações disruptivas tradicionalmente não surgem como processos “naturais”. Elas estão sendo construídas através de longos e persistentes processos interativos entre o mundo da ciência e da tecnologia, o mundo dos negócios e o mundo das políticas públicas, antecipando ou respondendo a desafios da sociedade, da concorrência ou a demandas dos mercados. Assim, em grande medida, a transformação das oportunidades tecnológicas em inovações disruptivas depende, em parte, de capacitações acumuladas no tempo e da disputa entre países e empresas para conquistar os novos mercados e, em parte, das pressões da sociedade para superar os limites econômicos, sociais e ambientais do modelo de desenvolvimento atual.

Em relatório de 2013, o *Global Institute* da consultoria McKinsey identificou uma dúzia de

tecnologias digitais emergentes, seriam elas: internet global, automação do trabalho intelectual, internet das coisas, computação em nuvem, robótica avançada, veículos autônomos, genômica de nova geração, armazenamento de energia, manufatura aditiva, materiais avançados, exploração avançada de petróleo e gás e energia renovável. No mesmo ano, o governo da França produziu uma lista de sete tecnologias nas quais recomendava concentrar investimentos públicos e privados: armazenamento de energia, reciclagem de metais raros, mineração no fundo do mar, química verde, medicina personalizada, tecnologias para enfrentar as consequências do envelhecimento da população e tecnologias para explorar grandes bases de dados (*Big Data*). Na Alemanha, por exemplo, as iniciativas voltadas para a transição energética e para a digitalização mobilizam a academia, as empresas e as agências de governo. Nos Estados Unidos, a promoção da “manufatura avançada” tem caráter semelhante. Todas essas tecnologias disruptivas se integram, manifestando o potencial da digitalização enquanto processo inequívoco para o desenvolvimento dos países.

O processo de digitalização das atividades econômicas vem se acelerando a um ritmo crescente (OCDE, 2017). Há pelo menos quatro razões imediatas para a sua expansão, e sua valorização revela a importância econômica das transformações em curso: (i) a queda dos custos da tecnologia digital; (ii) a crescente oferta de insumos, produtos e serviços digitais; (iii) a aplicabilidade de soluções amplas, e (iv) os próprios mercados em expansão.

Além da ação corporativa para se manter competitivo por meio de modelos de negócios integrados, conectados, inteligentes e servitizados, os países que desejam se posicionar de forma avançada nessa trajetória estão implementando estratégias proativas que, apesar de idiossincráticas (uma vez que as realidades nacionais importam), acabam por possuir pelo menos três elementos em comum: alta prioridade nas políticas públicas, cooperação público-privada e implementação de ações com visão de longo prazo.

Sob o ponto de vista dos países em desenvolvimento, o processo de adoção de tecnologias digitais, especialmente no setor industrial, ainda permanece em estágios iniciais e em condição pouco capilarizada, com boa parte das bases tecnológicas desses países atrelada a tecnologias digitais de gerações mais antigas. Dados de *surveys* realizados com empresas da Argentina (ALBRIEU et al, 2019), Brasil (IEL/NC et al, 2018; FERRAZ et al., 2019) e um estudo recente da UNIDO (2019) e de Kupfer et al. (2019) indicam que as empresas industriais desses países estão relativamente atrasadas, mesmo que visualizem algum avanço nas expectativas de adoção digital no futuro. Torracca et al. (2023) mostram, inclusive, que há uma forte heterogeneidade digital intra e entre países em desenvolvimento, fenômeno esse fortemente conectado com a própria heterogeneidade estrutural presente em países com amadurecimento tardio de suas estruturas produtivas e grandes lacunas de produtividade entre suas empresas.

No caso do Brasil, pesquisas realizadas pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) apontam que as empresas industriais possuem um nível de maturidade digital ainda emergente. Urraca-Ruiz et al. (2023) demonstram que, entre 2017 e 2020, houve um retrocesso na adoção de tecnologias referentes à Indústria 4.0 por parte das empresas industriais, sendo que aquelas que avançaram nesses últimos três anos possuíam um perfil bem definido: eram de maior porte, realizavam P&D e treinamento, além de serem

exportadoras e pertencerem a setores mais intensivos no uso do digital. Ou seja, um perfil mais limitado e que não congrega a grande maioria de empresas que caracterizam a estrutura produtiva do país.

Em estudo com caráter mais regional, que utilizou a mesma base de dados empregada nas pesquisas de Torracca et al (2023) e Urraca et al (2023), Laplane et al. (2023) mostram que as empresas vinculadas à Universidade Estadual de Campinas estão em estágios de adoção digital mais avançados em comparação a empresas com o mesmo perfil e pertencentes à mesma região, evidenciando a importância de um ecossistema local que potencialize especialmente as empresas de base tecnológica de menor porte.

Considerando os desafios que se colocam para a promoção de um Brasil mais digitalizado, o presente relatório tem como propósito aprofundar os conhecimentos sobre a adoção digital das empresas industriais brasileiras a partir das informações coletadas na Pesquisa de Inovação Tecnológica (PINTEC) Semestral focada na digitalização e conduzida pelo IBGE no primeiro semestre de 2023. Além de colaborar com futuras pesquisas que tenham a digitalização, em particular na indústria, objeto de estudo sistematizado, esse relatório possui como objetivo central explorar e identificar os principais elementos caracterizadores dos padrões de digitalização da indústria brasileira, de maneira a compreender de que forma firmas de variados portes e pertencentes a diferentes setores associam seu grau de digitalização e de penetração de tecnologias digitais com três dimensões analíticas: (i) benefícios da digitalização, (ii) fontes de estímulo à digitalização e (iii) natureza dos obstáculos enfrentados.

Para tanto, a primeira seção do relatório resgatará as contribuições teóricas por detrás da construção de padrões de inovação para, em seguida, adentrar nos avanços recentes sobre o desenho de padrões de digitalização. A quarta e quinta seções apresentam os dados descritivos e indicadores idealizados para descrever a experiência brasileira e fundamentar a construção dos padrões de digitalização. Por fim, a sexta e última seção descreve os grupos que compõem a utiliza técnicas de cluster e de análise

2. Padrões de inovação: determinantes e fatores associados

1.1. Diferenças e semelhanças no comportamento inovador: a utilidade analítica dos padrões

O desenvolvimento da atividade de inovação, e especificamente, a adoção de tecnologias digitais avançadas, tende a ser heterogênea entre agentes. A natureza dessa heterogeneidade se deve às especificidades de seu próprio processo de aprendizado fortemente vinculado à base de conhecimento relativa às atividades produtiva e comercial que desenvolvem, aos mercados nos quais concorrem (padrão de concorrência) e ao ambiente com o que interagem (território). As duas primeiras são eminentemente setoriais, isto é, caracterizam o comportamento inovador específico de determinadas industriais ou setores. O estudo das regularidades através de especificidades compartilhadas entre grupos de empresas, indústrias ou territórios se realiza através de taxonomias ou padrões. Este tipo de metodologia permite passar do caso específico para o das regularidades e elementos compartilhados por coletivos amplos, a partir dos quais é possível estabelecer padrões de comportamento e relações estáveis que sustentem um trabalho teórico mais consistente (Molero, 1994).

Os padrões de inovação podem se referir a tecnologias, empresas, setores e territórios. Os padrões referidos a tecnologias foram mais comuns em épocas em que não existiam pesquisas de inovação realizadas com foco nas empresas, com o estudo do progresso técnico focando eminentemente na historiologia das inovações. Um exemplo desta abordagem foi o trabalho de Abernathy e Clark (1985). Os autores estabeleceram quatro padrões que agrupam as inovações de acordo com seu impacto na concorrência, nos modos de produção e nas ligações com clientes e mercados. Trabalhos posteriores estabeleceram taxonomias baseadas em como os processos de inovação são desenvolvidos. Um padrão de inovação expressa, nesse sentido, uma forma ou modo de desenvolver atividade inovadora comum a um grupo de empresas, a partir dos insumos utilizados, o tipo de resultado obtido ou o impacto econômico daquela determinada forma de inovar. Este tipo de trabalho introduz as características estruturais das indústrias no nível da empresa, como o tamanho, juntamente com outras relacionadas com o exercício da sua atividade inovadora.

Alguns estudos representativos dessa abordagem foram os desenvolvidos por Molero e Buesa (1992) e Buesa e Molero (1993a), que estabeleceram uma tipologia de empresas com características semelhantes no processo de inovação a partir de uma análise de cluster na qual foram utilizados seis fatores: (i) estrutura da empresa e cenário inovador, que agrupa como variáveis porte da empresa, propensão à exportação e introdução efetiva de inovações de produtos e processos; (ii) formas de apropriação; (iii) autonomia tecnológica; (iv) geração de tecnologia própria; (v) grau de cooperação; e, (vi) acúmulo de experiência. As empresas que apresentavam características semelhantes e que nem sempre pertenciam ao mesmo setor ou ramo de atividade foram agrupadas em sete grupos e, embora os autores tenham destacado que o setor não era uma variável relevante para o estabelecimento de seu padrão, em alguns setores (metalurgia, máquinas e eletrônicos) certos grupos representativos de um padrão de inovação foram especialmente relevantes. Cesaratto e Mangano (1993) realizaram uma análise de cluster baseada em doze variáveis que caracterizaram o perfil tecnológico das empresas, as quais puderam ser classificadas em três grupos: (i) seis relacionadas aos insumos tecnológicos utilizados; (ii) cinco referentes ao tipo de resultado obtido; e (iii) um relacionado ao impacto das inovações nas vendas. O resultado foi o estabelecimento de seis grupos ou padrões de inovação, para cada um dos quais os setores eram mais representativos.

As primeiras tentativas de estabelecer padrões setoriais de inovação, ou seja, agrupamentos setoriais com padrões de inovação semelhantes, situam-se no âmbito da teoria evolucionista. O trabalho de Abernathy e Utterback (1978) determinou dois padrões diferentes de inovação dependendo do estágio em que as indústrias estão dentro do ciclo de vida tecnológico dos produtos, de modo que cada um dos padrões corresponderia a uma determinada estrutura industrial. Nos estágios iniciais, em que produtos, mercados e indústrias são recentes, o processo de inovação vem de mãos dadas com pequenas empresas muito inovadoras, não necessariamente caracterizadas por um alto esforço em P&D, e uma entrada na indústria marcada pela capacidade de inovação. Em estágios posteriores, quando a indústria amadurece, a experiência torna-se um fator mais importante e o esforço necessário para fazer inovações pode ser alto, uma vez que investimentos em P&D são necessários para prolongar a vida tecnológica dos produtos. Nessas etapas, a entrada se torna difícil e as empresas precisam de um grande porte para garantir uma alocação eficiente de recursos à P&D. A natureza dinâmica desse tipo de padrão prevê que os processos de inovação "típicos" das indústrias podem ser alterados ao longo do tempo à medida que as tecnologias relacionadas a produtos e modos de produção amadurecem. Portanto, a classificação das

indústrias em cada um dos dois padrões de inovação é diferente dependendo do estágio do ciclo tecnológico em que estão localizadas.

Posteriormente, surgiu uma linha de trabalhos que considera que a semelhança dos modos de inovação estaria alinhada com as características dos regimes tecnológicos em nível setorial e, embora evoluam ao longo do tempo, podem ser estudados em um período específico (Pavitt, 1984; Dosi, 1988; Nelson e Winter, 1982; Malerba e Orsenigo, 1990). As taxonomias setoriais baseadas em "regimes tecnológicos" consideram que as indústrias podem ser caracterizadas de acordo com sua base de conhecimento, ou seja, o tipo de conhecimento utilizado, desenvolvido e compartilhado por empresas que exercem a mesma atividade produtiva e inovadora, e que é específico para cada setor, na medida em que, cada um inclui diferentes graus de codificação, acessibilidade, apropriação e divulgação. Ao mesmo tempo, as empresas realizam seus processos de inovação combinando as oportunidades tecnológicas oferecidas pelos paradigmas tecnológicos com suas competências internas e pelos processos de aprendizagem realizados. Essas combinações desenvolvem formas específicas de resolver problemas, transformando o progresso técnico em trajetórias particulares que se desenvolvem sobre um determinado padrão de aprendizado e de localização e alocação de recursos para a inovação. Assim, as especificidades dos processos de inovação no nível das firmas podem ser agregadas no nível setorial na medida em que uma indústria representa "as médias das distribuições das firmas" (Dosi, 1988), uma vez que, em última análise, as indústrias são compostas por firmas que geram produtos que são, entre outras coisas, tecnologicamente semelhantes.

Com base em todas essas considerações, os setores podem ser agrupados considerando os elementos seletivos da aplicação do conhecimento genérico, ou seja, as possibilidades de aplicação do novo conhecimento (oportunidade tecnológica), o grau de apropriabilidade, sua natureza cumulativa e sua diversidade em termos de base de conhecimento. Alguns trabalhos relevantes que elaboram taxonomias baseadas em regimes tecnológicos setoriais são o de Malerba e Orsenigo (1990), para o caso italiano, e o de Malerba e Orsenigo (1995), onde também foram estabelecidas comparações internacionais entre França, República Federal da Alemanha, Itália e França. O trabalho de Malerba e Orsenigo (1990) classifica os setores em três grupos, dependendo dos valores adquiridos pela oportunidade, apropriabilidade e acumulação. O primeiro grupo, denominado "schumpeteriano", agrupa setores que possuem altos níveis de oportunidade, apropriabilidade e acumulação. São os setores eletrônico e farmacêutico. O segundo grupo, denominado "tradicional", inclui os setores que apresentam baixos níveis de oportunidade, apropriabilidade e acumulação. São eles: papel, madeira e têxtil. Entre esses dois extremos está a terceira categoria que agrupa os demais setores. Nessa categoria, as indústrias adotam valores altos, médios ou baixos combinados nos níveis de oportunidade, apropriabilidade e cumulatividade. O trabalho de Malerba e Orsenigo (1995) agrega às características dos regimes tecnológicos seis indicadores relativos à estrutura de mercado e às especificidades da atividade inovadora nos países estudados, com o objetivo de verificar e comparar entre países as correspondências entre padrões de inovação e estrutura de mercado segundo os modelos Schumpeter I e Schumpeter II. Os seis indicadores utilizados foram (Malerba e Orsenigo, 1995): (i) concentração da atividade inovadora; (ii) porte da empresa inovadora; (iii), mudanças ao longo do tempo nas hierarquias das empresas que inovam continuamente; (iv), a importância dos novos inovadores (entrantes) em detrimento dos já estabelecidos (incumbentes); (v) a composição das atividades inovadoras em cada um dos países estudados; e (vi) o cenário tecnológico global dos quatro países em uma dada classe tecnológica.

Buesa e Molero (1992) e Molero e Buesa (1996) caracterizaram as indústrias de acordo com a origem da mudança técnica, o tipo de insumo utilizado e a orientação da P&D, as atividades de cooperação, o tipo de resultados obtidos e os mecanismos de apropriação utilizados. Os padrões de inovação obtidos (chamados de regimes tecnológicos) combinaram a intensidade inovativa das firmas (alta, média e baixa) com seu porte (alto, médio e baixo). Dentro de cada padrão, os setores foram distribuídos de acordo com o comportamento típico das empresas inovadoras que operavam em cada um deles.

Uma última linha de trabalhos que agrupa setores de acordo com as semelhanças de seus processos de inovação teve seu ponto de partida no trabalho de Pavitt (1984). A taxonomia de Pavitt é mais abrangente que as anteriores na medida em que, além de incluir elementos relacionados aos regimes tecnológicos setoriais, tal como apropriabilidade, introduz elementos relacionados às trajetórias tecnológicas seguidas pelas indústrias dependendo de como se dá o desenvolvimento da atividade produtiva. Isso implica considerar que as tarefas inovadoras, longe de serem realizadas fora da atividade produtiva, estão intimamente relacionadas a ela, a ponto de condicionar os processos de inovação de acordo com as complementaridades existentes entre as especificidades produtivas e tecnológicas.

O padrão setorial da Pavitt foi desenvolvido com o objetivo de explicar as semelhanças e diferenças entre setores na origem, natureza e impacto das inovações, que são definidas pela origem dos insumos utilizados para sua produção, pelo tamanho e atividade da empresa inovadora e por seu setor de produção e uso. Os benefícios dessa perspectiva de análise são muitos, uma vez que alguns outros se somam àqueles que surgem da aplicação de outras taxonomias. Apesar de, em princípio, ter sido atribuído um certo caráter estático devido à estabilidade dos padrões, os setores podem alterar seu padrão de inovação ao longo do tempo, passando de uma categoria para outra. É possível até observar comportamentos diferentes entre países. O padrão também permite avaliar correspondências com formas dominantes de organização industrial e, a partir dessa avaliação, buscar explicações de causalidade entre mudança técnica e estrutura de mercado no âmbito de modos específicos de produção e inovação.

1.2. O Padrão original de Pavitt

O trabalho pioneiro de Pavitt surgiu com o objetivo de estabelecer a importância relativa dos fluxos econômicos e tecnológicos entre indústrias e lançar alguma luz sobre os determinantes das diferenças de produtividade intersetoriais, por meio dos efeitos do investimento nos setores usuários derivados da inovação realizada nos setores fornecedores e à difusão de inovações radicais (Robson et al., 1988). Essa linha de pesquisa iniciou-se com os trabalhos de Scherer (1982a), (1982b) e (1984), que, inspirados em trabalhos anteriores de Schmookler (1966), fizeram uma aplicação de tabelas de insumo-produto com dados de patentes e P&D, estabelecendo os fluxos de produção e uso de inovações de um setor para outro. Embora o objetivo final do trabalho de Scherer fosse medir diferenças intersetoriais de produtividade, uma de suas principais descobertas era que os setores podiam ser classificados sob o ponto de vista de setores produtores de inovações ou usuários. Assim, uma primeira diferenciação setorial se deriva da presença de setores cujo processo de inovação se caracteriza por ser um processo de produção de inovações, enquanto em outros é basicamente um processo de utilização de inovações produzidas em outros lugares.

Pavitt (1984) desenvolveu esse primeiro achado combinando outras categorias relacionadas com os regimes tecnológicos que caracterizam os processos de inovação e mudança técnica no setor e suas trajetórias tecnológicas, de acordo com as características particulares e específicas de cada setor. São eles, especificamente: a origem da inovação, as características dos resultados (processos ou produtos), as formas de apropriação e, como consequência, as possibilidades de diversificação tecnológica para outros setores e as características dos usuários. O padrão também introduz algumas das características estruturais das empresas inovadoras, como seu tamanho e atividade principal. De acordo com esses elementos, e levando em conta os diferentes comportamentos setoriais, as indústrias podem ser agrupadas em quatro categorias: (i) dominadas por fornecedores; (ii) produção intensiva, dentro da qual se diferenciam "economias de escala intensivas" e "fornecedores especializados"; e, (iii) baseado na ciência.

As indústrias dominadas por fornecedores são basicamente setores tradicionais e se correspondem com os setores usuários de Scherer (1982a) (têxtil, couro e calçado, mobiliário, madeira, papel, artes gráficas, editoração e construção). Caracterizam-se por uma baixa contribuição para seus próprios processos de inovação, uma vez que a maioria de suas inovações provém de fornecedores de bens de capital e bens intermediários. Em alguns casos, alguma contribuição pode ser feita por seus clientes ou até mesmo pelo governo. As formas de apropriação costumam ser a vantagem tecnológica, o uso de marcas e publicidade, técnicas profissionais e desenhos muito específicos e sofisticados. A atividade inovadora deste tipo de indústrias é a dependência de outros setores para realizar sua atividade inovadora, que passa por processos internalizados de P&D de forma muito limitada. Em termos de resultados, eles basicamente realizam inovações de processo (que podem ser radicais) e, em menor medida – em termos relativos – a melhoria dos produtos existentes. Alguns setores dominados por fornecedores podem se comportar como de produção intensiva em economias de escala se houver fortes alterações na demanda devido ao acesso a mercados mais amplos ou se houver melhorias significativas nos processos de produção.

As indústrias de produção intensiva são aquelas que, pela natureza e tamanho de sua demanda, caracterizam-se por uma forte divisão do trabalho e por uma grande possibilidade de aproveitamento das reduções nos custos de produção devido à maior facilidade, em termos relativos, de substituir o capital pelo trabalho. Trata-se, portanto, de setores em que o tipo de produção permite, também em termos relativos, uma maior utilização de economias de escala. A forma como essas economias podem ser alavancadas varia de usuário para usuário. Neste sentido, é feita uma distinção entre setores dedicados à produção normalizada de produtos intermediários e à produção de bens de consumo duradouros. Os primeiros enquadram-se no grupo dos chamados setores "fornecedores especializados" e os segundos denominados como de "economias de escala intensivas". As características da inovação em ambos os casos são bastante diferentes, uma vez que seus processos de produção também são diferentes.

Nas indústrias intensivas em escala, os processos de produção são contínuos, há fortes interdependências entre os fluxos de produção e as técnicas operacionais e os custos de erro são altos, portanto, é necessário um monitoramento constante dos equipamentos. As empresas criam grupos de especialistas em engenharia de produção que identificam problemas, gargalos etc., para viabilizar a fluidez dos processos, além de projetar e introduzir melhorias nos equipamentos. A origem da inovação nesse tipo de setor é interna e está localizada nos departamentos de engenharia de produção. São setores que produzem grande

parte de seus insumos tecnológicos e dedicam uma elevada proporção de recursos à inovação. A principal forma de apropriação ou de proteção é a sua liderança tecnológica, isto é, uma capacidade superior de projetar, construir e operar nesse tipo de processo. Outras formas de apropriação utilizadas são o know-how, o segredo, os gaps tecnológicos que impedem ou retardam a imitação e, em menor grau, as patentes. Os setores típicos deste grupo são as indústrias extrativas, a indústria alimentar, a metalurgia, a construção naval, os veículos automóveis e os minerais não metálicos (vidro e cimento). No entanto, se as tecnologias de processo e os mercados finais atingirem um elevado grau de maturidade, eles podem se tornar dominados pelos fornecedores, especialmente as indústrias automotiva, agroalimentar, de mineração e de metais.

Nos setores *fornecedores especializados* as empresas fornecem produção especializada de equipamentos e instrumentos, geralmente para grandes empresas com as quais mantêm uma estreita relação usuário-fornecedor. São os casos típicos das indústrias de equipamento mecânico e instrumentos. Grandes empresas fornecem experiência operacional testando, projetando e desenvolvendo recursos para seus fornecedores. Estes, por sua vez, fornecem conhecimento e experiência especializados, que é o resultado do projeto e construção de equipamentos para uma ampla variedade de usuários, muitas vezes de diferentes indústrias. Pavitt, o descreve como um "padrão de desintegração vertical e convergência tecnológica". No entanto, o padrão tecnológico dessas empresas é diferente do padrão de suas empresas usuárias e é basicamente direcionado para a inovação nos processos produtivos de outras empresas e indústrias. A origem da mudança técnica não está localizada em departamentos internos de engenharia ou P&D, mas decorre das relações entre usuário e fornecedor dentro de um processo contínuo de inovação baseado no acúmulo de conhecimento tácito por meio do aprendizado e da experiência. É por isso que os altos resultados da inovação em termos de patentes se devem a um baixo gasto em P&D em termos relativos (Patel e Pavitt, 1994) e que, embora dediquem uma proporção relativamente alta de recursos tecnológicos, a produção de inovações voltadas para as indústrias usuárias é ainda mais importante. As formas pelas quais essas empresas protegem sua liderança tecnológica também são diferentes daquelas usadas por aquelas que operam em economias de setores intensivos em escala. A proteção dessa liderança depende, em grande medida, da capacidade adquirida de desenvolver técnicas específicas refletidas em melhorias contínuas no design de produtos, bem como da capacidade de responder com sensibilidade e rapidez às necessidades de seus usuários.

Os setores de base científica são as indústrias química, farmacêutica, elétrica e eletrônico. Sua principal característica é que eles podem aproveitar mais diretamente os avanços da ciência básica desenvolvidos em universidades e centros públicos de pesquisa. A maior parte dos avanços registrados nos campos científicos relacionados à base de conhecimento desses setores traduz-se no desenvolvimento de tecnologias com uma ampla gama de aplicações, o que, por sua vez, permite o desenvolvimento de atividades geralmente sujeitas a fortes mudanças. Dessa forma, emergem inúmeros campos de aplicação e cenários tecnológicos que dão origem a diferentes atividades com estruturas e custos de produção específicos, desde as voltadas para bens de consumo final (eletrônica de consumo), até novos materiais (química) ou aplicações profissionais especializadas (eletrônica de uso profissional). No entanto, as dificuldades de explorar todas as possibilidades oferecidas por um campo tecnológico que decorre diretamente do progresso científico podem limitar os incentivos das empresas a buscar oportunidades de inovação fora de seu principal setor de atividade. As formas de apropriação não são fixas e geralmente são combinações entre patentes, segredo,

diferenciais tecnológicos com rivais e desenvolvimento de técnicas específicas. A origem do conhecimento é basicamente interna, razão pela qual as empresas costumam criar laboratórios internos de P&D, por meio dos quais são desenvolvidos os processos de aprendizagem necessários para absorver e adaptar os avanços científicos que são feitos no exterior. A direção da mudança técnica destes sectores para varia dependendo se a produção é intermédia ou final. Assim, por exemplo, a química de demanda intermediária produz uma alta proporção de inovações de produtos que são usados por outros setores, principalmente instrumentos, maquinaria e têxtil; ou as indústrias de componentes eletrônicos, que fornecem muitas inovações de produtos para as indústrias de bens de capital eletrônicos.

A Tabela 4 resume a taxonomia de Pavitt (1984), que identifica as trajetórias tecnológicas das firmas em função de sua atividade principal, o que permite prever possíveis padrões de diversificação de produtos e setores. Cada trajetória setorial é definida pela origem do conhecimento aplicado ao processo de inovação, pelas necessidades do usuário como ponto de referência para a sensibilidade de sua demanda e pelos níveis de apropriação. A origem da inovação se refere ao local onde ela é gerada. Pode ser interna às empresas (em laboratórios de P+D ou departamentos de engenharia), ou externa a elas (através de relações com utilizadores e fornecedores, através de financiamento público de projetos de P+D ou através da aquisição de tecnologia incorporada em bens de capital e consumo intermédio). O equilíbrio entre a origem interna e externa varia de setor a setor de acordo com as especificidades técnicas e de produção de cada indústria e as necessidades dos usuários (melhores preços, desenhos específicos, etc.), de modo que é metodologicamente significativo diferenciar entre setores de demanda intermediária e demanda final.

Quadro 1. Características setoriais dos processos de inovação segundo a taxonomia de Pavitt (1984).

	<i>Dominado por fornecedores</i>	<i>Economias de escala intensivas</i>	<i>Fornecedores Especializados</i>	<i>Baseados na ciência</i>
Setores Típicos de Atividade (Indústria)	Têxtil, Mobiliário, Madeira, Papel, Couro e Calçado, Gráficos e Editoração	I. Alimentos, veículos automóveis, minerais não metálicos	I. Mecânica, Instrumentos	Químico & Farmacêutico, Elétrico, Elétrico e Eletrônico Máquinas
Determinantes das trajetórias tecnológicas				
- <i>Origem da tecnologia e acumulação tecnológica</i>	Fornecedores (externo)	Fornecedores, departamentos de engenharia e produção e departamentos de P&D. (Interno)	Interação com usuários e clientes. Design e desenvolvimento. (Interno)	Departamentos de engenharia de produção e P&D da corporação. Conhecimento público. (Interno)
- <i>Tipo de usuário</i>	Sensível ao preço	Sensível ao preço	Sensível aos resultados obtidos	Combinação de ambos.
- <i>Principais métodos de proteção</i>	Não-técnico: <i>marketing</i> , marcas, design elevado	Sigilo, know-how <i>de design</i> operacional, <i>gaps tecnológicos</i>	<i>Know-how</i> em design, patentes e conhecimento das necessidades dos usuários	<i>Know-how em P+D</i> , patentes, sigilo, know-how operacional, <i>economias de aprendizagem dinâmicas</i>
Principal foco de atividade tecnológica	Redução de custos	Misturado	Melhoria do Produto	Misturado
- <i>Balanceamento de produtos e processos</i>	Processos	Processos	Produtos	Misturado
Diversificação tecnológica	Baixo-Vertical	Vertical-alto	Baixo-concêntrico	Baixo-Vertical; Alto Concêntrico
Outros elementos relacionados com os regimes tecnológicos				
- <i>Principal fonte de aprendizagem</i>	Produção e Serviços de Consultoria	Produção, fornecedores e design	Usuários	P&D básico, produção, engenharia e design
- <i>Principal direção de acumulação tecnológica</i>	Tecnologia de Processos e Equipamentos (para cima)	Tecnologia de Processos e Equipamentos (para cima)	Melhoria do Produto (concêntrico)	Relação produto-tecnologia. (concêntrico)
- <i>Canais de imitação e transferência de tecnologia</i>	Aquisição de equipamentos e serviços associados	Compra de equipamentos, <i>know-how</i> , licenças e engenharia reversa	Engenharia Reversa, Aprendizado de Usuário Avançado	Engenharia reversa, I+D, subcontratação de cientistas Engenheiros de C&T

Fonte: Elaboração própria a partir de Pavitt (1984), (1995a) e (1995d).

Quadro 1. (continuação). Características setoriais dos processos de inovação segundo a taxonomia de Pavitt (1984).

	<i>Dominado por fornecedores</i>	<i>Economias de escala intensivas</i>	<i>Fornecedores Especializados</i>	<i>Baseados na ciência</i>
Outros aspectos				
<i>Tamanho médio da empresa inovadora</i>	Pequeno	Grande	Pequeno	Grande
<i>Principais tarefas de gerenciamento</i>	Uso de tecnologia gerada externamente para fortalecer vantagens competitivas	Integração incremental de novas tecnologias em sistemas complexos. Melhoria e divulgação das melhores práticas. Explorando vantagens em tecnologias de processo	Observe as necessidades dos usuários avançados Integre novas tecnologias em produtos	Desenvolvimento Relativo de Produtos às suas tecnologias, explorar as ciências básicas, obter bens complementares. Reconfigurando as responsabilidades divisionais

Fonte: Elaboração própria a partir de Pavitt (1984), (1995a) e (1995d).

As fontes internas são importantes setores intensivos em economias de escala. A P&D se combina com design e engenharia (D&E), uma vez que o conhecimento sobre a transformação de processos e materiais é especialmente importante. As patentes e o know-how interno é mais importante em setores onde grande parte de suas inovações se derivam da aplicação de patentes (farmacêuticas, computadores e aeronaves). Como fontes externas, os principais fluxos de conhecimento ocorrem nas relações entre produtor e usuário relativas ao design, aprendizagem e know-how na adaptação de melhorias às necessidades do usuário. Esta fonte é significativa tanto em setores que são fornecedores especializados quanto em setores de base científica que atendem demandas intermediárias. Já a aquisição de produtos intermediários e de capital se distribui mais aleatoriamente entre setores, mas quando comparada a outras fontes domésticas é especialmente importante nas indústrias de alimentos, bebidas, têxtil, papel e editoração e metalurgia.

O tipo de usuário, juntamente com a origem da tecnologia, determina em grande parte o foco principal da atividade tecnológica (trajetória tecnológica) das indústrias. Nesse sentido, há uma associação entre usuário, atividade tecnológica e equilíbrio produto-processo. Os setores dominados por fornecedores caracterizam-se por uma forte associação entre a sensibilidade de preços dos usuários e a atividade tecnológica focada na redução de custos por meio da inovação de processos, enquanto os fornecedores especializados têm um tipo de usuário mais sensível aos resultados obtidos, por isso orientam sua atividade tecnológica para a melhoria de produtos ou a busca de novos produtos. A sensibilidade aos preços em setores intensivos em economias de escala leva a uma maior relevância das inovações de processo, embora sua atividade tecnológica não vise apenas a redução de custos, mas também a melhoria dos produtos como resultado da interação com seus fornecedores. Os setores de base científica alcançam um balanço mais equilibrado entre produtos e processos à medida que desenvolvem tecnologias difundidas que afetam diferentes tipos de usuários. A atividade tecnológica realizada, portanto, oferece um equilíbrio mais equilibrado entre redução de custos e melhoria do produto. A inovação de produto parece estar positivamente relacionada à atividade de P&D e à intensidade de patenteamento, e negativamente à escala e complexidade das tecnologias de processo, medidas por meio da relação capital/trabalho, tamanho médio da planta ou razões de concentração (Pavitt, 1984).

As principais formas de apropriação coincidem, em grande medida, com os resultados obtidos posteriormente por Levin et al (1987) ou Malerba e Orsenigo (1990). Setores caracterizados por inovações de processo, como os intensivos em economias de escala e baseados na ciência, utilizam o segredo, lacunas tecnológicas ou tempos de liderança e curvas de aprendizado como formas de apropriação, ou seja, seu know-how operacional na atividade produtiva ou no desenvolvimento da atividade tecnológica por meio de P&D ou design. Já os setores dominados por fornecedores desenvolvem formas menores de apropriação (marcas, publicidade, etc.), pois são setores fundamentalmente usuários de inovações, onde o acesso ao novo aplicativo é mais fácil. Os setores caracterizados por inovações de produto (fornecedores especializados e parcialmente baseados na ciência) introduzem as patentes como os principais mecanismos de apropriação, sendo especialmente importante o conhecimento das necessidades de seus usuários com os quais interagem no desenvolvimento da atividade tecnológica e produtiva. O uso de patentes por esses setores implica diretamente uma maior propensão a patentear do que em outros setores.

As trajetórias tecnológicas oferecem diferentes possibilidades de diversificação tecnológica das empresas de acordo com seu principal setor de atividade produtiva e seu padrão de atividade tecnológica. A presença de um certo padrão de diversificação tecnológica implica o reconhecimento de que, em alguma medida, a tecnologia pode determinar as atividades futuras da firma, em particular, suas principais linhas de produtos (Pavitt, 1984; Pavitt et al., 1989). O padrão de diversificação sugere que a diversificação tecnológica vertical a montante (bens de capital) está negativamente associada à intensidade em P&D, o que proporciona maior capacidade de diversificação a jusante (bens finais); e positivamente com a escala e complexidade das tecnologias de produção. A possibilidade de diversificação tecnológica de setores de base científica é muito alta devido às fortes relações com outros setores.

O padrão também considera elementos relacionados aos regimes tecnológicos dos setores, como as fontes de aprendizagem, os canais de imitação e a direção da acumulação tecnológica. Dadas as especificidades de aprendizagem e acúmulo de conhecimento das organizações, é razoável admitir que empresas com a mesma atividade-fim tenham distribuições semelhantes de atividade tecnológica entre grupos de produtos e áreas técnicas, ou seja, trajetórias tecnológicas semelhantes. Os setores dominados por fornecedores caracterizam-se por ter origens externas na aquisição e acumulação de conhecimento por meio de seus fornecedores de bens intermediários e de capital, com os quais a acumulação tecnológica é direcionada para trás nos processos produtivos. O principal canal de imitação é a compra de bens e serviços associados à sua exploração, o que confirma a maior facilidade de acesso à inovação por parte dos concorrentes em relação a outros setores. Sua principal forma de aprendizagem deriva do desenvolvimento da atividade de produção e uso (aprender fazendo e usando) e assessoria técnica externa. Os setores intensivos em economias de escala também direcionam sua acumulação tecnológica a montante, pois concentram a maior parte de sua atividade inovadora em processos. O aprendizado se dá por meio do relacionamento produção e fornecedores, e os canais de imitação estão localizados no desenvolvimento de know-how operacional, licenciamento, compra de equipamentos e engenharia reversa. A direção da acumulação tecnológica nos setores fornecedores especializados é concêntrica, uma vez que flui de e para seus setores usuários em um processo de atividade tecnológica eminentemente interativo entre produtor e usuário. A principal forma de aprendizado é interagir com seus clientes. Os canais de imitação focam na aquisição de conhecimento sobre novos requisitos do usuário e engenharia reversa. Os setores de base científica também seguem uma direção concêntrica, mas, diferentemente dos fornecedores especializados, este não é resultado da interação com os usuários, mas do tipo de tecnologia desenvolvida para a montante ou a jusante na cadeia produtiva.

O aprendizado está fortemente relacionado ao desempenho de tarefas de P&D (aprendizado pela busca) e atividades de produção (pela prática). Os principais canais de imitação são a engenharia reversa, a aquisição de capacidade de absorção por meio de P&D e a terceirização de cientistas e engenheiros. Cada uma das classificações setoriais do padrão de inovação define, de acordo com sua trajetória, diferentes estratégias competitivas baseadas na inovação. Os setores dominados por fornecedores baseiam sua estratégia de inovação na identificação de novas tecnologias de processo geradas externamente e no desenvolvimento de habilidades internas derivadas do aprender fazendo e usando; setores intensivos em economias de escala buscam otimizar as vantagens de custo de produção aplicadas a sistemas complexos para melhor explorar suas economias de escala;

os fornecedores especializados identificam as necessidades de seus usuários para aprimorar a tecnologia de seus produtos; e os baseados na ciência dedicam seu esforço inovador à busca de aplicações derivadas do avanço do conhecimento científico por meio de P&D.

1.3. Desenvolvimentos posteriores

Posteriormente ao padrão original de Pavitt (1984), numerosos trabalhos aplicados foram realizados em diferentes economias com o objetivo de contrastar sua veracidade através da introdução de novos indicadores. Embora em termos gerais o padrão não tenha sido modificado, sucessivos trabalhos incorporaram novos métodos de elaboração do padrão quando as informações disponíveis utilizadas ou os modos de produção praticados em outros países eram diferentes. Para analisar esses novos aspectos, consideram-se, a seguir, as modificações realizadas por outros autores nas contribuições sobre novos indicadores e variáveis na determinação dos elementos que identificam diferentes padrões de inovação.

A razão fundamental para a criação de uma metodologia diferente derivava do fato de que alguns dos desenvolvimentos subsequentes que estudaram as especificidades do padrão de inovação em outros países tinham informações diferentes das usadas inicialmente por Pavitt. Estudos posteriores, ao contrário do trabalho de Pavitt (1984), não foram realizados sobre objetos (inovações), mas sobre sujeitos (firmas). Como consequência, a falta de informação sobre todos os aspectos introduzidos por Pavitt fez com que muitos desses trabalhos eliminassem de sua análise o estudo de algumas questões como o grau de diversificação tecnológica, o tipo de usuário, a direção da acumulação tecnológica ou a análise da estratégia inovadora escolhida. Ao mesmo tempo, ao contar com informações sobre as firmas, novos métodos e indicadores se incluíram para estimar os padrões de inovação para além de sua caracterização inicial.

Na medida em que este trabalho de pesquisa utiliza dados sobre firmas, e não sobre inovações, na análise empírica, faz-se necessário atentar para alguns aspectos sobre o tratamento das informações que foram fornecidas por outros autores. Estes são, basicamente, aqueles que se referem à origem da inovação e à caracterização dos resultados de inovação obtidos.

A origem da inovação

A origem da inovação no padrão original de Pavitt concentrou-se quase exclusivamente nas relações intersetoriais como fonte de aquisição de conhecimento tecnológico. Estudos posteriores avançaram nessa linha ao desenvolver indicadores para estabelecer equilíbrios entre origens internas e externas em um sentido mais amplo do termo, e não apenas considerando a origem da inovação em termos das relações da empresa com o mundo exterior, mas também em termos do tipo de fonte utilizada.

A definição da origem da inovação entre interna e externa está ligada ao tipo de insumo utilizado no processo de inovação. Esses insumos podem estar localizados dentro ou fora das empresas, caso em que são denominados como origens internas ou externas, respectivamente. No entanto, às vezes, uma mesma entrada pode ter a dupla característica de interna ou externa. Por exemplo, a P&D é considerada como um insumo de origem interna, uma vez que geralmente é desenvolvida de forma internalizada em seus próprios departamentos de pesquisa. Algo semelhante acontece

com o design. Mas, na medida em que as economias tendem a terceirizar atividades terciárias internalizadas, estas podem ser vistas como fontes externas se forem terceirizadas.

Alguns insumos do processo de inovação são eminentemente externos, como a compra ou aquisição de tecnologia externa. As fontes externas de inovação mais comumente consideradas são a aquisição de tecnologia não incorporada (patentes, know-how, etc.), a aquisição de máquinas e equipamentos, o consumo intermediário tecnologicamente melhorado ou os auxílios públicos à pesquisa. Outros insumos, como o conhecimento tácito derivado da experiência e do aprendizado, representam fontes de inovação eminentemente internas à empresa. O conhecimento tecnológico pode ser adquirido interna ou externamente por meio de diferentes mecanismos formais (P&D, design, compra de bens de capital e bens intermediários, etc.) e informais (relações usuário-fornecedor, encontros entre pesquisadores, experiência, etc.); e sua produção depende tanto das características do ambiente econômico dos agentes quanto dos avanços do conhecimento que ocorrem em ambientes não econômicos. O processo de inovação muitas vezes exige a combinação de diferentes fontes. O balance entre fontes internas e externas depende das características tecnológicas dos produtos e dos conhecimentos básicos do setor em que a empresa opera.

Um indicador utilizado nesse sentido é o Custo Total da Inovação (CTI). A aplicação deste indicador em nível setorial mostrou que a origem da inovação variava consideravelmente de indústria para indústria. Assim, setores que apresentam altos gastos com inovação estão geralmente associados a altas oportunidades tecnológicas (máquinas de escritório e computadores, outros transportes e aeronaves, borracha e plásticos, automóveis, instrumentos de precisão e elétrica e eletrônica), o que mostra que mesmo setores intensivos em P&D necessitam de outras atividades que complementem o processo de inovação (Archibugi et al., 1993). A dispersão dos custos de inovação entre setores é muito inferior à das despesas em P&D, o que significa também que as atividades complementares (investimento, concepção, marketing, etc.) representam uma base necessária e comum no desenvolvimento dos processos de inovação.

Em termos do padrão setorial de inovação, o uso alternativo de diferentes insumos e, portanto, o equilíbrio entre fontes internas e externas, varia de acordo com as especificidades tecnológicas e produtivas das empresas e dos setores aos quais pertencem. Os resultados de Archibugi et al (1991) e Napolitano (1991) para o caso da Itália mostraram uma associação positiva entre setores com alta atividade de P&D e setores altamente inovadores, quando a origem da inovação é eminentemente interna. A P&D representa a principal fonte de inovação interna e de patentes e know-how, a principal fonte externa em setores de base científica (química e farmacêutica) onde a investigação está ligada à assimilação e aplicação dos avanços do conhecimento científico. Em setores de produção intensiva, a propensão ao uso de fontes internas é muito alta, com os principais insumos utilizados, internos e externos, coincidindo com setores de base científica. No entanto, nestes o design e a experiência assumem um papel mais relevante como insumos internos. Os fornecedores especializados de bens e equipamentos intermediários apresentam um balanço mais equilibrado entre fontes internas e externas. A P&D e D&E são as principais fontes internas, e os serviços de informação científica e técnica, as patentes e o know-how são as principais fontes externas. Em última análise, tanto os setores que produzem bens de consumo tradicionais quanto aqueles que fornecem bens intermediários tradicionais são mais importantes no uso de fontes externas,

basicamente a compra de bens de capital. As fontes internas mais usadas são o design e a experiência.

Resultados da inovação

Dadas as características de sua base de dados, Pavitt (1984) considerou inovação de processo aquela que é utilizada pelo mesmo setor que a produz e inovação de produto como aquela que é utilizada por agentes diferentes daqueles que a produzem, para um nível de desagregação setorial de dois dígitos. Essa definição de inovações de produto e processo resulta em uma superestimação do número de inovações de produto, quanto maior o nível de desagregação da atividade inovadora (Simonetti et al., 1992). Quando o tipo de informação disponível é sobre empresas e não sobre inovações, as definições de inovação de produto e processo são diferentes. Nestes casos, a inovação de produto consiste em bens novos ou melhorados que são comercializados no mercado, enquanto a inovação de processo significa mudanças nas técnicas de produção. Com esta nova conceitualização, Archibugi et al (1991) desenvolveram dois indicadores de especialização chamados de propensões ou balanços. A primeira diz respeito ao equilíbrio entre produtos e processos. A segunda se refere ao grau de novidade, ou seja, entre novos produtos e processos versus produtos e processos melhorados.

Em termos de padrão de inovação, observaram-se resultados semelhantes aos obtidos por Pavitt (1984). Os setores dominados pelos fornecedores (tanto produtores de bens de consumo tradicionais quanto fornecedores de bens intermediários tradicionais) foram caracterizados por uma baixa propensão a introduzir inovação de produto, enquanto para o restante das classificações os coeficientes de especialização em inovação de produto foram altos (acima da unidade).

3. Padrão de digitalização das firmas e sua relação com padrões de inovação

3.1 Fatores determinantes da adoção digital

As decisões das empresas dependem de informações e percepções sobre os ativos de tecnologia existentes e das expectativas sobre o que a nova solução pode trazer. A percepção refere-se à informação, consciência e compreensão do indivíduo sobre se e como as tecnologias estão sendo utilizadas em seu ambiente de negócios (Nutley et al., 2002). Além disso, a adoção é afetada por fatores relacionados com a nova tecnologia como a compatibilidade, a adaptabilidade e a facilidade de absorver um novo conjunto de dispositivos, a centralidade da nova tecnologia para a organização e a complexidade dos requisitos para a adoção da nova tecnologia.

Dois modelos abordam os fatores que afetam a tomada de decisão sobre a adoção de tecnologia: o Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM) e o Tecnologia-Organização-Ambiente (TOE) (Davis, 1989). O modelo TAM enfatiza as percepções dos líderes empresariais, distinguindo a utilidade percebida e a facilidade de uso percebida. O modelo TOE inclui contextos tecnológicos, organizacionais e ambientais ou de mercado como determinantes do processo de tomada de decisão (Tornatzky e Fleisher, 1990). Os aspectos tecnológicos estão relacionados com nível tecnológico dos dispositivos utilizados pelas empresas no momento prévio à adoção. O contexto organizacional compreende as características e os recursos das empresas, incluindo tamanho,

estrutura gerencial, competências e estratégia competitiva. O contexto ambiental inclui a estrutura de mercado da indústria em que uma empresa opera, o contexto econômico e o ambiente regulatório.

Em contextos em que o progresso técnico muda muito rápido, a capacidade de absorção das empresas opera um papel importante no processo de adoção. A capacidade de absorção é "a capacidade de uma firma de reconhecer o valor de novas informações externas, assimilá-las e aplicá-las a fins comerciais" (Cohen e Levinthal, 1990:128). Mowery e Oxley (1995) reconhecem na capacidade absorptiva uma ampla gama de habilidades necessárias para lidar com o conhecimento adquirido. Já para Zahra e George (2002: 186) a capacidade absorptiva se refere a "um conjunto de rotinas e processos organizacionais pelos quais as empresas adquirem, assimilam, transformam e exploram o conhecimento para produzir uma capacidade organizacional dinâmica". Junto à capacidade de absorção, fortemente vinculada às competências tecnológicas da firma, se encontram as capacidades e competências organizacionais, que em combinação com as tecnológicas, permitem às empresas responderem a mudanças e manterem ou criarem vantagens competitivas (Nelson e Winter, 1982).

A evidência empírica disponível sobre digitalização das empresas confirma essas proposições. Fabiani et al (2005) constataram que, na manufatura italiana, a adoção de tecnologias de informação e comunicação (TIC) está positivamente associada ao tamanho da empresa, à qualificação da força de trabalho e às mudanças nas estruturas organizacionais. Hollenstein (2004) encontrou resultados semelhantes entre as empresas suíças, incluindo evidências sobre os efeitos positivos dos spillovers das informações entre empresas e da pressão competitiva. Bayo-Moriones e Lera-López (2007) constataram que o tamanho, a propriedade estrangeira e a elevada qualificação da força de trabalho estavam positivamente associadas à adoção de TIC em uma amostra de empresas espanholas. Haller e Siedschlag (2011) sugerem que as empresas irlandesas com trabalhadores mais qualificados e as empresas que operavam em setores produtores de TIC têm sido relativamente mais bem-sucedidas na adoção e utilização das TIC. Em uma discussão sobre a adoção de tecnologias em empresas de energia indonésias, Arifin et al (2016) constataram que, para ser eficaz, é preciso investir em competências essenciais exigidas pela tecnologia a ser adotada.

Em síntese, quatro seriam os fatores que estimulam a adoção de tecnologias digitais nas empresas. Em primeiro lugar está o nível de adoção prévia ou nível tecnológico do qual a firma parte. Considerando o papel que joga a capacidade de absorção, é mais provável que os maiores avanços aconteçam nas empresas mais atrasadas, pois elas podem dar saltos tecnológicos maiores e se beneficiam das condições de mercado e do conhecimento proporcionado pelo caminho trilhado pelas antecessoras (Geroski, 2000). Por outro lado, as empresas que já usam tecnologias digitais mais avançadas têm um espaço potencial para avançar menor em relação à fronteira tecnológica. Assim, a adoção prévia de tecnologias digitais avançadas está negativamente ligada à adoção subsequente, enquanto baixos níveis de adoção podem estar positivamente ligados a novos progressos, refletindo efeitos informacionais, competitivos ou de oferta (Ben Aoun-Peletier e Vicente, 2012). Em Urracca et al. (2023) há uma discussão sobre esses elementos com uma aplicação para o caso de empresas industriais brasileiras.

Em segundo lugar está o tamanho da empresa (Geroski, 2000). As grandes empresas têm mais recursos para investir em comparação com as de menor tamanho. Além disso, as grandes empresas podem estar mais motivadas e sem mais capazes de inovar para se antecipar aos movimentos dos rivais (Karshebas e Stoneman, 1995; Teo e Tan, 1998; Thong, 1999; Fabiani et al., 2005; Morgan et al., 2006; Zolas et al, 2020).

Em terceiro lugar se encontra a capacitações tecnológica da firma. O nível de qualificação da força de trabalho, por exemplo, é um fator crucial que afeta a capacidade de absorção das tecnologias e suas aplicações nas empresas (Doms et al., 1997). Um alto perfil de qualificação dos trabalhadores contribui para aumentar a capacidade de absorção quando é suficientemente adaptável às novas tecnologias (Arvanitis, 2005; Bresnahan et al., 2002; Fabiani et al., 2005; Falk, 2001). No entanto, um alto nível de educação formal nas antigas tecnologias pode representar uma barreira para a adoção se houver rigidez para aprender e se adaptar às novas tecnologias. A adaptação às novas tecnologias encontra um ambiente mais propício nas organizações onde o aprendizado e os esforços contínuos de formação e atualização fazem parte de sua cultura (Delera et al., 2020; Pfeiffer et al., 2016). Embora as tecnologias digitais sejam, do ponto de vista da adoção, uma inovação de processo, as atividades de P&D constituem uma fonte essencial de aprendizagem, no sentido de Cohen e Levinthal. O P&D aumenta a capacidade da empresa de identificar novas oportunidades e de mobilizar os recursos necessários para absorver novos conhecimentos, mesmo que esses conhecimentos venham de fontes externas e estejam incorporados em dispositivos tangíveis e intangíveis. Além disso, a absorção de tecnologia exige adaptação ao novo. Assim, aprender por meio de treinamento é essencial para adotar novas tecnologias, pois os trabalhadores devem aprender novos procedimentos, identificar e resolver problemas inesperados e explorar adequadamente o que as novas tecnologias podem oferecer.

O quarto determinante diz respeito às pressões competitivas. De acordo com Calvino et al (2018), a intensidade de uso de tecnologias digitais varia entre indústrias. Taxas de difusão maiores ou menores dependem de se tais tecnologias são uma parte inerente e central na indústria. Por exemplo, indústrias como Equipamentos de Transporte, Telecomunicações, Computadores e Eletrônicos são propensas ao digital, enquanto Alimentos, Bebidas e Tabaco ou Mineração são setores digitalmente menos intensivos a princípio. A pressão competitiva tem sido identificada como um incentivo à inovação e à adoção de novas tecnologias (Gattington e Robertson, 1989). As empresas que enfrentam uma concorrência mais forte estariam mais inclinadas a inovar. O mesmo se aplica à adoção de novas tecnologias, como as TIC, pois contribuem para fortalecer o desempenho competitivo das empresas (Dasgupta et al., 1999; Hollenstein, 2004; Kowtha e Choon, 2001). A competição de mercado pode desencadear a inovação e a adoção de novas tecnologias em pelo menos dois sentidos. Em primeiro lugar, a busca por liderança competitiva impulsiona as empresas a adotarem novas tecnologias. Em segundo lugar, as empresas são "contaminadas" pelas mais recentes tecnologias adotadas por seus concorrentes, especialmente aqueles que competem em mercados mais amplos (locais e, principalmente, externos). Assim, as empresas expostas à concorrência internacional estão mais inclinadas a adotar tecnologias digitais. (Hollestein, 2004; Bayo-Moriones e Lera-López, 2007). Delera et al (2020) sugerem que, uma vez controladas pelo comportamento inovador e as características, as empresas que participam de cadeias globais de valor são significativamente mais propensas a adotar tecnologias digitais avançadas.

3.2 Elementos teóricos associados à construção de um padrão de digitalização

A digitalização forma parte do processo de inovação das empresas a partir de duas características. Em primeiro lugar, a digitalização pode ser compreendida como um conjunto de inovações de processo tanto em sentido de Pavitt quanto pela sua definição no Manual de Oslo. Na definição de Pavitt (1984), inovações de processo é produção de informação especializada para uso interno, isto é, inovações utilizadas pelo mesmo setor que as produz, por exemplo, criação de programas que geram e utilizam massiva quantidade de dados produzida em tempo real). Já para o Manual de Oslo, trata-se de métodos de produção ou comercialização novos ou significativamente melhorados que envolvem mudanças de insumos, infraestruturas, equipamentos e recursos humanos. Estas inovações de processo são altamente disruptivas, podendo levar a uma profunda transformação das competências produtivas, tecnológicas e gerenciais da firma localizadas nas diferentes funções empresariais (produção, comercialização, pesquisa, administração, etc.).

Em segundo lugar, a adoção de tecnologias digitais é fundamentalmente um processo de aprendizado interno da firma, mesmo que alguns subprodutos digitais sejam subcontratados a empresas de serviços especializados ou mesmo que a digitalização de algumas funções afete em como a firma se relaciona com outras empresas fornecedoras e usuárias. Por ser um processo eminentemente interno, os recursos internos da firma são muito importantes, desde a qualificação da mão de obra até o nível tecnológico de máquinas e equipamentos, a sua estrutura organizacional e gerencial e a cultura corporativa.

Quadro 2. Correspondência de categorias analíticas entre um padrão de inovação e padrão de digitalização

<i>PADRAO DE INOVAÇÃO</i>	<i>PADRÃO DE DIGITALIZAÇÃO</i>
I. Setores Típicos de Atividade (Indústria)	Setores Típicos de Atividade (Indústria)
II. Determinantes das trajetórias tecnológicas - <i>Origem da tecnologia e acumulação tecnológica</i> - <i>Tipo de usuário</i> - <i>Principais métodos de proteção</i> - <i>Intensidade inovadora</i>	Determinantes das trajetórias tecnológicas - <i>Origem da tecnologia e acumulação tecnológica</i> - <i>Tipo de uso (funcionalidades dentro da firma)</i> - <i>Principais métodos de proteção</i> - <i>Intensidade digitalização</i>
III. Principal foco de atividade tecnológica - <i>Balanceamento de produtos e processos</i>	Principal foco da atividade tecnológica São tecnologias de processo - <i>Balanceamento: Aplicação das TDA ao desenvolvimento de produtos ou a melhora dos processos</i>
IV. Diversificação tecnológica	Concentração/diversificação entre tecnologias digitais
V. Outros elementos relacionados com os regimes tecnológicos - <i>Principal fonte de aprendizagem</i> - <i>Principal direção de acumulação tecnológica</i> - <i>Canais de imitação e transferência de tecnologia</i>	Outros elementos relacionados com os regimes tecnológicos - <i>Principal fonte de aprendizagem</i> - <i>Principal direção de acumulação tecnológica</i> -
VI. Outros aspectos <i>Tamanho médio da empresa inovadora</i> <i>Principais tarefas de gerenciamento</i>	Outros aspectos <i>Tamanho médio da empresa inovadora</i> -

Fonte: Elaboração própria com base em Pavitt (1984)

Sob estas considerações, um padrão de digitalização se define como um conjunto de características comuns no processo de adoção de tecnologias digitais relativos a conjuntos específicos de empresas. Essas características respondem a categorias analíticas similares às de um processo de inovação, mas com as particularidades que apresenta um processo de digitalização. Neste sentido, o Quadro 2 representa uma primeira tentativa de adaptar a análise dos padrões de inovação ao de digitalização.

Em primeiro lugar, uma provável dimensão é a setorial. Esta dimensão envolve supor que, como nos padrões setoriais de inovação, empresas que operam no mesmo setor compartilham similaridades nos processos de produção que as levará a demandas e soluções tecnológicas também similares. Em segundo lugar, no que se refere aos determinantes das trajetórias tecnológicas, o padrão de digitalização deve considerar a origem da tecnologia ou balanço entre fontes internas e externas; o tipo de uso mais do que do usuário em si, isto é, se a digitalização é um processo abrangente a um conjunto de funções ou especializado na aplicação a específicas funcionalidades; os principais métodos de proteção, como liderança tecnológica, acesso e geração de informação e bases de dados, copyright, etc.; e a intensidade em digitalização.

Em terceiro lugar está a dimensão sobre o principal foco da atividade tecnológica. Considerando que as tecnologias digitais se referem a processos, o balanço entre produtos e processos é adaptado ao balanço entre adoção digital para o desenvolvimento de novos produtos ou de novos processos. Em quarto lugar, a diversificação tecnológica adquire uma dimensão totalmente diferente que nos padrões de inovação. No lugar de observar se em nível setorial o processo de inovação permite a diversificação horizontal ou vertical, num processo de digitalização é importante saber se existe sinergias entre tecnologias digitais, isto é, se a adoção digital pode acontecer sobre específicas tecnologias ou se, devido à convergência entre tecnologias, a digitalização envolve a adoção de um conjunto de tecnologias digitais ao mesmo tempo. Em quinto lugar, os elementos relacionados aos regimes tecnológicos se referem à fonte de aprendizagem, fortemente vinculada à origem da tecnologia e da acumulação tecnológica e sua principal direção. Por serem inovações de processo, seria esperado que a direção focará em reduções de custos, ganhos de escala e em outros diversos ganhos de eficiência, embora possa haver outros relacionados com outros objetivos, tais como a diferenciação, diversificação, entrada em novos mercados, etc. Finalmente, um último conjunto de categorias incorpora o tamanho de empresa, mas também poderia considerar algumas outras características estruturais da firma, como o tipo de propriedade ou a natureza do capital.

4. Retrato da digitalização na indústria brasileira: permeabilidade das tecnologias digitais, extensividade entre funções empresariais, ganhos, motivações e obstáculos

A construção de um padrão de digitalização para a indústria brasileira ainda é algo que requer maior aprofundamento. Trabalhos recentes foram pioneiros em mapear a situação da adoção digital por parte de empresas industriais brasileiras, buscando identificar sobretudo os determinantes por detrás do fenômeno e as idiosincrasias do caso brasileiro. Mas padrões na busca por regularidades na adoção em si não foi necessariamente o foco desses exercícios iniciais. Com a PINTEC Semestral Digitalização (PINTEC-Dig) capitaneada pelo IBGE, obtém-se pela primeira vez a oportunidade de não só analisar mais profundamente os determinantes da adoção com base em uma amostra

representativa de empresas industriais, como também se torna possível identificar similaridades e diferenças quanto a percepção das empresas sobre obstáculos, motivações e ganhos associados ao processo de digitalização. Sendo assim, o objetivo dessa primeira seção é apresentar os resultados descritivos oriundos da pesquisa mediante o cruzamento de variáveis e indicadores analíticos para o agregado da indústria brasileira.

As informações disponibilizadas consideram a adoção de seis tecnologias digitais (big data, computação na nuvem, inteligência artificial, internet das coisas, manufatura aditiva e robótica) em cinco diferentes funções da firma (P&D, produção, logística, administração e vendas). Os resultados e indicadores derivados sempre levarão em consideração essas possibilidades de combinação.

4.1 Permeabilidade das tecnologias e extensividade entre funções

O primeiro cruzamento entre variáveis se refere à permeabilidade das tecnologias e à extensividade do grau de utilização das tecnologias entre funções. Para analisar essas propriedades no uso das tecnologias digitais avançadas consideradas, primeiramente se definem os seguintes vetores de variáveis:

T, é o vetor de tecnologias digitais sendo: t_1 (big data); t_2 (computação na nuvem); t_3 (inteligência artificial); t_4 (internet das coisas); t_5 (manufatura aditiva); t_6 (robótica).

F é o vetor de funções da firma: f_1 (P&D); f_2 (produção); f_3 (logística); f_4 (administração); f_5 (vendas).

O cruzamento entre os vetores $|F \times T|$ gera uma matriz de 5 linhas e 6 colunas que agrega o número de empresas que utilizam alguma das tecnologias citadas associadas a uma função específica. Dado que as questões perguntam acerca do grau de utilização, a frequência de uso por parte de cada empresa se pondera pelo grau de utilização da tecnologia digital μ que toma valor 1 quando a utilização é abrangente; 0,5 quando é localizada e 0 quando não há utilização. Portanto, o valor de cada célula a_{ij} é igual ao total de empresas que utilizam a tecnologia j na função i ponderado pelo seu grau de utilização:

$$a_{ij} = \sum_{n=1}^k n_{ij}^k \cdot \mu_k$$

Portanto, o valor máximo da célula será igual a k , isto é, o caso em que todas as empresas utilizam totalmente uma determinada tecnologia numa determinada função.

A matriz $|F \times T|$ pode ainda ser transformada numa matriz de pesos ou propensões $-|F \times T|'$ dividindo cada a_{ij} entre o número total de firmas (k), isto é:

$$\hat{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{k}$$

Dado que o valor máximo de a_{ij} é o valor de k , então o valor máximo de cada $\hat{a}_{ij} = 1$ e o valor mínimo seria igual a 0 (nenhuma empresa adota alguma tecnologia específica para alguma função específica). Os valores \hat{a}_{ij} representam uma intensidade de adoção tecnológica por função.

Além disso, a matriz $|F \times T|'$ possui duas leituras adicionais com valor analítico próprio. Por um lado, o coeficiente de variação dos valores das colunas representaria um *Índice de Permeabilidade* de cada tecnologia entre as diferentes funções da firma. Quanto mais próximo a 0, menores as diferenças do desvio em respeito à média e, portanto, mais uniforme a aplicação da tecnologia entre funções. Alternativamente, elevados coeficientes de variação apontariam que o uso de determinadas tecnologias digitais se concentra em funções específicas. Nesse sentido, o coeficiente de variação dos valores das linhas representaria um *Índice de Extensividade* que, por sua vez, poderia identificar o quão extensivo é o uso de diferentes tecnologias digitais em cada uma das funções. Quanto mais se aproxima de zero o coeficiente de variação, mais similar é a distribuição dos \hat{a}_{ij} e, portanto, mais extensivo é o uso de tecnologias em cada função. Alternativamente, quanto maior o valor do coeficiente de variação, maiores são as diferenças entre os valores dos \hat{a}_{ij} e mais especializado a função está em alguma(s) tecnologia(s). Esse cruzamento ainda permite verificar o uso integrado das tecnologias ao longo das funções.

Os resultados dos índices de extensividade e permeabilidade estão apresentados na Tabela 1 a seguir para um número total de empresas ($k=9.586$) que é o total de empresas da pesquisa ampliado pelo fator de expansão correspondente a cada empresa de acordo com sua representatividade na amostra. A Tabela 1 revela três observações relevantes. A primeira é que os maiores graus de utilização são os correspondentes a Computação na Nuvem, com valores entre 0,24 e 0,39 dependendo da função empresarial; e Internet das Coisas, com valores entre 0,15 e 0,2. Ambas as tecnologias tendem a ser as mais utilizadas pelas empresas brasileiras. Em seguida aparece Big Data, com valores entre 0,07 e 0,11 e Robótica, com valores entre 0,04 e 0,11; e finalmente, com graus de utilização muito baixos vem Manufatura Aditiva, com valores entre 0,03 e 0,07; e Inteligência Artificial com coeficientes no intervalo 0,03 e 0,04.

Tabela 1. Índices de permeabilidade e extensividade de uso de tecnologias digitais avançadas por função empresarial.

K=9.586

	Big Data	Computação na nuvem	Inteligência artificial	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Robótica	<i>Índice de Extensividade</i>
Desenvolvimento de produto	0,07	0,28	0,04	0,16	0,07	0,07	0,76
Processo produtivo	0,08	0,24	0,03	0,16	0,04	0,11	0,70
Logística	0,08	0,26	0,03	0,15	0,02	0,04	0,98
Administração	0,12	0,39	0,05	0,20	0,03	0,04	1,03
Comercialização	0,11	0,33	0,04	0,16	0,03	0,03	1,02
<i>Índice de Permeabilidade</i>	0,22	0,20	0,20	0,10	0,60	0,63	

Fonte: Elaboração própria a partir da PINTEC-Dig (IBGE, 2023)

A segunda observação se refere ao índice de permeabilidade, que por seus baixos valores revela que todas as tecnologias digitais são altamente permeáveis entre todas as funções empresariais, ou seja, não há como associar uma tecnologia a alguma função específica. Nesse caso, quando as tecnologias são muito utilizadas ou quando são pouco utilizadas, elas apresentariam similares graus de utilização entre funções. Sobre esta observação geral surgem alguns destaques, como uso relativamente mais intensivo de computação na nuvem nas funções de administração e comercialização e o elevado valor do índice de permeabilidade de Robótica, o qual se deve a que esta tecnologia está relativamente concentrada em aplicações ao processo produtivo.

A terceira observação se refere ao índice de extensividade, isto é, quanto extensivamente cada função empresarial utiliza de tecnologias digitais. Este índice apresenta valores mais elevados que o índice de permeabilidade, o qual se deve às fortes diferenças que existem em todas as funções entre o uso de Computação na Nuvem e Internet das Coisas em comparação às demais tecnologias. Destaca-se também o fato de que quando a empresa utiliza tecnologias digitais para o desenvolvimento de produtos e no processo produtivo, a extensividade é maior, isto é, há uma maior diversidade de uso de tecnologias digitais e, portanto, um menor coeficiente de variação. As maiores diferenças se observam nas funções de Logística, Administração e Comercialização, as quais se concentram mais no uso de Computação na Nuvem e Internet das coisas -as duas últimas ainda adotam Big Data-, e onde o uso de tecnologias como Manufatura Aditiva ou Robótica é insignificante o que, por sua vez, faz sentido considerando a natureza mais operacional dessas funções.

4.2 Ganhos da digitalização: tecnologias digitais e funções da firma

O objetivo desta subseção é observar dois fenômenos: (1) a natureza da interrelação entre a percepção sobre os ganhos da digitalização e as funções da firma e (2) a associação entre os ganhos da digitalização e a natureza da tecnologia. Em cada um dos casos, serão analisados a transversalidade do benefício por função e por tecnologia, assim como verificar se existe uma diferente percepção de ganho de acordo com a intensidade em digitalização.

Este bloco de tabelas é formado por três matrizes ou cruzamentos a partir de três vetores de variáveis: T , F e B . Os vetores T e F foram definidos anteriormente. Já B se refere aos diferentes tipos de benefícios, quais sejam: b_1 (aumento da eficiência); b_2 (redução do impacto ambiental); b_3 (melhoria no relacionamento com clientes ou fornecedores); b_4 (maior capacidade de desenvolvimento de produtos, serviços novos ou significativamente aprimorados); b_5 (maior eficiência no atendimento ao mercado); b_6 (maior flexibilidade em processos administrativos, produtivos e organizacionais); b_7 (entrada em novos mercados).

O cruzamento entre os vetores B e F gera a matriz $|BxF|^C$ de 7 linhas e 5 colunas que relaciona o *uso predominante* de tecnologias digitais em cada uma das funções contempladas com a identificação de específicos ganhos de digitalização. O mesmo cruzamento entre variáveis gera a matriz $|BxF|^P$ em que a percepção do benefício se refere ao conjunto de empresas que adotam *parcialmente* tecnologias digitais em suas funções empresariais. Um terceiro tipo de cruzamento é o que relaciona os vetores B e T , gerando a matriz $|BxT|$ formada por 7 linhas e 6 colunas. Esta matriz identifica o tipo de ganho associado à adoção (total ou parcial) de cada uma das tecnologias digitais consideradas.

As três matrizes possuem em cada célula o número total de empresas que cumpre as condições acima indicadas. Dividindo cada célula entre o número total de empresas, obtém-se matrizes de propensões (\hat{a}_{ij}). Por exemplo, na matriz de propensões $|BxF|^C$, a célula \hat{a}_{11} representaria qual o percentual de empresas que utilizaram predominantemente tecnologias digitais em atividades de P&D e D&E e obtiveram ganhos de eficiência. A distribuição dos pesos permite observar a propensão a identificar ganhos obtidos com a digitalização de acordo com o grau de digitalização

das funções (total e parcialmente) nas matrizes $|BxF|^C$, $|BxF|^P$; e a propensão a identificar ganhos obtidos com a digitalização em cada uma das tecnologias digitais utilizadas na matriz $|BxT|$.

Os resultados destes indicadores estão dispostos na Tabela 2 a seguir. Em primeiro lugar, observa-se que a percepção ou identificação de ganhos é mais elevada quando a adoção é parcial do que quando é predominante em todas as funções empresariais, com exceção da função Administração. Este resultado pode estar associado a dois efeitos. O primeiro se deve à percepção sobre as tecnologias ao longo do caminho de adoção. Isto significa que quando a adoção ainda é parcial, a percepção de obtenção de ganhos é maior do que quando é predominante. O segundo se deveria à existência de um ganho marginal decrescente ao longo da adoção. Assim, o ganho marginal percebido ou esperado é maior quando a adoção ainda não é generalizada e vai diminuindo à medida que a adoção é mais predominante. Estes efeitos, no entanto, atuariam em sentido contrário na função de administração, na qual, os ganhos registrados ou esperados são cada vez maiores com a ampliação do uso de tecnologias digitais.

Tabela 2. Propensão a identificar ganhos de digitalização por função.

Predomínio digital $ BxF ^C$. $K=9.586$					
	Desenvolvimento de produto	Processo produtivo	Logística	Administração	Comercialização
Ganhos de eficiência	0,26	0,16	0,30	0,45	0,36
Eficiência ambiental	0,21	0,13	0,24	0,36	0,29
Melhoras relações cliente/fornecedor	0,24	0,15	0,29	0,42	0,34
Desenvolvimento de produtos	0,22	0,14	0,26	0,39	0,31
Eficácia Mercado	0,24	0,16	0,29	0,43	0,35
Flexibilidade	0,26	0,16	0,30	0,46	0,36
Entrar em novos Mercados	0,14	0,09	0,17	0,25	0,20
<i>Média das propensões por ganho</i>	<i>0,22</i>	<i>0,14</i>	<i>0,26</i>	<i>0,39</i>	<i>0,32</i>

Parcialmente digital. $ BxF ^P$. $K=9.586$					
	Desenvolvimento de produto	Processo produtivo	Logística	Administração	Comercialização
Ganhos de eficiência	0,45	0,54	0,42	0,29	0,36
Eficiência ambiental	0,37	0,44	0,35	0,25	0,30
Melhoras relações cliente/fornecedor	0,44	0,53	0,41	0,30	0,35
Desenvolvimento de produtos	0,39	0,47	0,37	0,26	0,32
Eficácia Mercado	0,43	0,52	0,41	0,28	0,35
Flexibilidade	0,45	0,55	0,43	0,30	0,37
Entrar em novos Mercados	0,23	0,27	0,21	0,14	0,19
<i>Média das propensões por ganho</i>	<i>0,40</i>	<i>0,47</i>	<i>0,37</i>	<i>0,26</i>	<i>0,32</i>

Fonte: Elaboração própria e PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

Em segundo lugar, e em decorrência do primeiro efeito observado, os maiores ganhos se apresentam em funções diferentes de acordo com a amplitude de sua utilização. Assim, quando a adoção de tecnologias digitais é parcial, os maiores ganhos se concentram na sua aplicação aos processos produtivos e ao desenvolvimento de produtos, seguido de longe pela logística, comercialização e, finalmente, administração. Todavia, quando a adoção é predominante, os maiores ganhos se identificam nas funções de administração e comercialização - cuja distribuição praticamente não se altera entre ambos os casos.

Em terceiro lugar, os principais ganhos obtidos com a digitalização seguem também um diferente padrão quando a adoção é parcial a quando é predominante. Em ambos os casos, a empresas apresentam uma maior propensão a indicar como principal ganho a flexibilidade e os ganhos de

eficiência. No entanto, para as empresas de predomínio digital, as seguintes propensões em ordem de importância se localizam nos ganhos de eficácia no mercado, enquanto para as empresas com adoção parcialmente digital, o ganho em importância seria a melhora das relações cliente/fornecedor.

Em último lugar, a distribuição das propensões a identificar ganhos em função das tecnologias está diretamente relacionada com seu uso. Assim, as propensões mais elevadas se localizam nas colunas das tecnologias de Computação na Nuvem, Internet das Coisas e Big Data, e são especialmente pequenas em Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva e Robótica, como visto anteriormente tecnologias ainda em baixo estágio de adoção no caso da indústria brasileira. As diferenças entre ganhos são muito pequenas e não é possível, a partir dos dados da Tabela 3, associar algum ganho a alguma tecnologia especificamente. Apenas no caso de Computação na Nuvem se observam maiores diferenças, sendo os ganhos mais destacados os mesmos que os identificados por função: ganhos de eficiência, flexibilidade e melhores relações com clientes e fornecedores.

Tabela 3. Propensão a identificar ganhos de digitalização por tecnologia.

matriz $|B \times T|$. $K=9.586$

	Big Data	Computação na nuvem	Inteligência artificial	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Robótica
Ganhos de eficiência	0,12	0,33	0,04	0,17	0,05	0,08
Eficiência ambiental	0,11	0,28	0,03	0,15	0,04	0,06
Melhoras relações cliente/fornecedor	0,12	0,32	0,04	0,17	0,05	0,07
Desenvolvimento de produtos	0,11	0,29	0,04	0,16	0,05	0,07
Eficácia Mercado	0,12	0,32	0,04	0,17	0,05	0,08
Flexibilidade	0,12	0,33	0,04	0,17	0,05	0,07
Entrar em novos Mercados	0,09	0,19	0,02	0,10	0,03	0,04

Fonte: Elaboração própria a partir da PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

4.3 Fontes da digitalização (facilitadores): tecnologias digitais e funções da firma

O objetivo desta análise de tabelas é associar os fatores que favorecem ou induzem a digitalização às funções empresariais digitalizadas e às tecnologias digitais. Em cada um dos casos, deverá ser observada a transversalidade do fator facilitador por função empresarial e por tecnologia digital, assim como verificar se há diferenças de percepção do fator facilitador de acordo com a intensidade da adoção.

Este bloco de tabelas é formado por três matrizes ou cruzamentos a partir de três vetores de variáveis: T , F e E . T e F são os vetores anteriormente definidos. Já E é um vetor de variáveis relativo à natureza ou origem do fator facilitador, distinguindo entre: e_1 (influência de fornecedores ou clientes); e_2 (influência da concorrência); e_3 (estratégia autônoma da empresa); e_4 (atratividade dos programas de apoio públicos e privados).

O cruzamento entre os vetores E e F gera a matriz $|ExF|^C$ de 4 linhas e 5 colunas que relaciona o uso predominante de tecnologias digitais em cada uma das funções empresariais com específicos fatores facilitadores. O mesmo cruzamento entre variáveis gera a matriz $|ExF|^P$, ou seja, a percepção do fator facilitador se refere ao conjunto de empresas que digitalizou apenas parcialmente em suas funções empresariais. Um segundo tipo de cruzamento é o que relaciona os vetores E e T , gerando a matriz $|ExT|$ formada por de 4 linhas e 6 colunas. Dividindo cada célula

entre o número total de empresas, obtém-se matrizes de propensões (\hat{a}_{ij}). Por exemplo, na matriz de propensões $|ExF|^C$, a célula \hat{a}_{12} representaria o percentual de empresas que utilizam predominantemente tecnologias digitais em atividades de produção e identificam como facilitador de adoção de tecnologias digitais as relações com fornecedores e clientes. Assim, as matrizes $|ExF|^C$, $|ExF|^P$ permitem observar as propensões a indicarem cada uma das funções digitalizadas de acordo com o grau de adoção (predominante ou parcial). Já a matriz $|BxT|$ permite observar a propensão das empresas a indicar específicas fontes associadas a específicas tecnologias digitais.

Tabela 4. Propensão a identificar fontes de digitalização por função empresarial.

Predomínio digital. $|ExF|^C$. K=9.586

	Desenvolvimento de produto	Processo produtivo	Logística	Administração	Comercialização
Fornecedores ou Clientes	0,17	0,11	0,21	0,32	0,26
Concorrência	0,14	0,09	0,17	0,26	0,21
Estratégia autónoma da empresa	0,25	0,16	0,30	0,44	0,35
Programas de apoio	0,08	0,06	0,09	0,14	0,11
Média	0,16	0,10	0,19	0,29	0,23

Parcialmente digital. $|ExF|^P$. K=9.586

	Desenvolvimento de produto	Processo produtivo	Logística	Administração	Comercialização
Fornecedores ou Clientes	0,33	0,39	0,31	0,22	0,26
Concorrência	0,27	0,32	0,25	0,17	0,21
Estratégia autónoma da empresa	0,44	0,53	0,41	0,29	0,35
Programas de apoio	0,13	0,15	0,13	0,08	0,11
Média	0,30	0,35	0,28	0,19	0,24

Fonte: Elaboração própria e PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

A Tabela 4 apresenta as propensões das empresas a identificar as possíveis fontes ou estímulos à digitalização. Neste caso, os dois grupos de adotantes, com predomínio digital e os parcialmente digitais, apresentam o mesmo padrão. A principal fonte ou estímulo à digitalização é a estratégia autónoma da empresa e em segundo lugar, os fornecedores e clientes. Também, as propensões a indicarem os programas públicos ou privados de apoio como estímulos à digitalização são muito baixos.

Tabela 5. Propensão a identificar fontes de digitalização por tecnologia digital.

	Big Data	Computação na nuvem	Inteligência artificial	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Robótica
Fornecedores ou Clientes	0,09	0,24	0,03	0,13	0,04	0,06
Concorrência	0,07	0,18	0,03	0,12	0,03	0,05
Estratégia autónoma da empresa	0,12	0,31	0,03	0,15	0,05	0,07
Programas de apoio	0,05	0,11	0,02	0,07	0,02	0,03
Média	0,08	0,21	0,03	0,13	0,04	0,06

Fonte: Elaboração própria e PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

Esta ordem de importância das fontes da digitalização se mantém também por tecnologia (Tabela 5), razão pela qual não é possível associar fontes específicas para específicas tecnologias. Pelo

contrário, para qualquer que seja a tecnologia digital, as maiores propensões indicam como principal fonte o estímulo é a estratégia autônoma da empresa, seguida das relações com fornecedores e clientes e concorrência. Finalmente, e como no caso anterior, os programas de apoio tem um papel residual.

4.4 Obstáculos à digitalização: tecnologias digitais e funções da firma

Esta análise permite associar os fatores que dificultam a digitalização às funções digitalizadas da empresa e às tecnologias digitais. Em cada um dos casos, deverá ser observada a transversalidade do empecilho por função empresarial e por tecnologia digital, assim como se há uma diferente percepção do empecilho de acordo com a intensidade da adoção. Para além da proposta enunciada, ainda é possível gerar estatísticas descritivas que associem os benefícios, fatores indutores e obstáculos ao caso de empresas que não adotaram nenhuma tecnologia digital, por exemplo. Adicionalmente, há ainda a oportunidade de cruzar as dimensões caracterizadoras da adoção entre si, buscando identificar de que forma os fatores indutores, empecilhos e benefícios estão relacionados.

Este bloco de tabelas está formado por três matrizes ou cruzamentos a partir de três vetores de variáveis: T , F e O . Como dito antes, T e F são os vetores já definidos. Já O é um vetor de variáveis relativo à natureza do obstáculo à digitalização, distinguindo entre: o_1 (limitado conhecimento sobre as tecnologias digitais disponíveis); o_2 (ausência e/ou incertezas sobre regulações, padrões ou normas técnicas associadas às novas tecnologias); o_3 (riscos associados à segurança e privacidade); o_4 (dificuldade de integração entre as áreas de negócios); o_5 (dificuldade de integração com fornecedores e/ou clientes); o_6 (falta de pessoal qualificado na empresa); o_7 (limitada oferta de pessoal qualificado no mercado); o_8 (dificuldades relacionadas à interoperabilidade entre diferentes tecnologias digitais); o_9 (altos custos das soluções tecnológicas); o_{10} (infraestrutura de telecomunicações inadequada).

O cruzamento entre os vetores O e F gera a matriz $|OxF|^C$ de 10 linhas e 5 colunas que relaciona o uso predominante de tecnologias digitais em cada uma das funções empresariais com específicos obstáculos ou empecilhos. O mesmo cruzamento entre variáveis gera a matriz $|OxF|^P$, ou seja, a percepção do empecilho se refere ao conjunto de empresas que digitalizou apenas parcialmente em suas funções empresariais. Um segundo tipo de cruzamento é o que relaciona os vetores O e T , o qual gera a matriz $|OxT|$ formada por de 10 linhas e 6 colunas. Esta matriz associa o obstáculo à adoção (total ou parcial) a cada uma das tecnologias digitais consideradas.

As células das três matrizes representam o número total de empresas que cumprem as condições indicadas. Dividindo cada célula entre o número total de empresas, obtém-se matrizes de propensões (\hat{a}_{ij}). Por exemplo, na matriz de propensões $|OxT|$, a célula $\hat{a}_{10,2}$ representaria o percentual de empresas que adota total ou parcialmente tecnologias de computação da nuvem e identificam como obstáculo uma inadequada infraestrutura de telecomunicações. Assim, as matrizes $|OxF|^C$, $|OxF|^P$ apresentam a distribuição de propensões que associam os principais obstáculos a cada uma das funções digitalizadas (total e parcialmente). Já a matriz $|OxT|$ permite observar as propensões das empresas a indicarem os obstáculos associados a cada uma das

tecnologias digitais, tanto no grupo das firmas que realizaram digitalização abrangente, quanto no caso das firmas que não digitalizam.

A Tabela 6 apresenta a identificação de obstáculos por funções diferenciando entre as empresas com predomínio digital e as de adoção parcialmente digital. Uma primeira observação é que as propensões a identificar obstáculos são relativamente mais elevadas entre as empresas que digitalizam parcialmente comparativamente àquelas que aplicam predominantemente tecnologias digitais. Isto revela que a percepção de problemas é mais aguçada durante um processo de adoção do que quando as tecnologias já foram adotadas. Em ambos os grupos de empresas, os principais obstáculos percebidos se localizam nos elevados custos das soluções tecnológicas. A propensão a indicar este tipo de problema é maior nas funções onde o predomínio digital é maior, isto é, nas funções de administração e comercialização. Já entre as empresas com digitalização parcial, este problema se coloca como mais importante nas funções de desenvolvimento de produto e aplicação a processos produtivos (entre um 40% e um 50%), o que pode apontar a que os altos custos represente o principal freio à digitalização para além da administração e da comercialização.

Em segundo lugar, entre as empresas com predomínio digital, o problema apontado é o risco de segurança e privacidade nas funções de desenvolvimento de produto, nos processos produtivos e na logística. Já nas funções de administração e comercialização, a questão indicada é a falta de pessoal qualificado na empresa. O terceiro problema em importância apontado varia também entre funções. Assim, a falta de pessoal qualificado ou a oferta limitada de pessoal qualificado no mercado são problemas apontados nas funções de desenvolvimento de produto, processos produtivos e logística; enquanto nas atividades de administração e comercialização são apontados os riscos de segurança e privacidade.

Alternativamente, no grupo das empresas com adoção parcialmente digital, o padrão é mais homogêneo. Após os elevados custos de soluções tecnológicas, os principais problemas apontados são a falta de pessoal qualificado na empresa e a oferta limitada de pessoal qualificado no mercado. Este é um resultado interessante, pois revela que um *handicap* importante ao longo do processo de digitalização é a falta de pessoal qualificado para a implementação de tecnologias, o que já tem sido identificado em trabalhos prévios (Urraca-Ruiz et al, 2023). Adicionalmente, nas funções de processos produtivos e administração, se identificam também como relativamente relevante a dificuldade de integrar as tecnologias digitais entre as distintas áreas de negócios.

A Tabela 7 apresenta a identificação de obstáculos associada a cada uma das tecnologias digitais. Como no caso anterior, independentemente da tecnologia, as propensões mais elevadas se localizam no grupo de empresas que não digitaliza e, concretamente, nas tecnologias de Inteligência artificial e manufatura aditiva, com mais de 50% e em Robótica com 45,5%. Chama a atenção as baixas propensões observadas entre as empresas que não digitalizam relacionadas com Big Data, o que pode ser um efeito do desconhecimento das empresas a respeito destas tecnologias. No entanto, apesar das fortes diferenças nas propensões, o padrão identificado é muito similar. Tanto as empresas com utilização abrangente quanto as empresas que não digitalizam apontam os mesmos problemas. Em primeiro lugar, os elevados custos de soluções tecnológicas, seguido de problemas associados à disponibilidade de pessoal qualificado, tanto dentro da própria empresa quanto no mercado. Em seguida, destacam-se os problemas associados aos riscos de segurança e privacidade.

Tabela 6. Propensão a identificar obstáculos à digitalização por função empresarial

K=9.586

	Entre firmas que adotam com predomínio digital. $ OxF ^c$					Entre firmas com adoção parcialmente digital. $ OxF ^p$				
	Desenvolvimento de produto	Processo produtivo	Logística	Administração	Comercialização	Desenvolvimento de produto	Processo produtivo	Logística	Administração	Comercialização
Limitado conhecimento	0,099	0,062	0,123	0,194	0,151	0,208	0,247	0,197	0,136	0,164
Incerteza sobre regulação e padrões	0,100	0,061	0,119	0,181	0,135	0,192	0,230	0,179	0,131	0,160
Risco de segurança e privacidade	0,139	0,104	0,166	0,257	0,199	0,256	0,292	0,239	0,160	0,203
Dificuldade de integrar áreas de negócios	0,120	0,081	0,149	0,226	0,177	0,248	0,294	0,238	0,173	0,199
Dificuldade de integrar fornecedores/clientes	0,092	0,065	0,116	0,172	0,133	0,185	0,206	0,171	0,124	0,154
Falta de pessoal qualificado na empresa	0,129	0,082	0,155	0,263	0,206	0,297	0,344	0,288	0,197	0,235
Oferta limitada de pessoal qualificado no mercado	0,122	0,087	0,155	0,239	0,196	0,269	0,294	0,244	0,173	0,202
Dificuldade de interoperar tecnologias digitais	0,123	0,080	0,150	0,233	0,175	0,236	0,278	0,219	0,154	0,204
Elevados custos de soluções tecnológicas	0,225	0,135	0,259	0,401	0,317	0,410	0,504	0,398	0,279	0,339
Inadequada infraestrutura de Telecom	0,109	0,076	0,132	0,214	0,154	0,212	0,253	0,201	0,134	0,182

Fonte: Elaboração própria e PINTEC-Dig (IBGE, 2023)

Tabela 7. Propensão a identificar obstáculos à digitalização por tecnologias digitais.

K=9.586

	Utilização abrangente						Não digitaliza					
	Big Data	Computação na nuvem	Inteligência artificial	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Robótica	Big Data	Computação na nuvem	Inteligência artificial	Internet das coisas	Manufatura aditiva	Robótica
Limitado conhecimento	0,046	0,131	0,013	0,061	0,022	0,026	0,240	0,049	0,260	0,154	0,251	0,217
Incerteza sobre regulação e padrões	0,043	0,147	0,014	0,072	0,018	0,030	0,233	0,038	0,256	0,130	0,240	0,215
Risco de segurança e privacidade	0,061	0,196	0,023	0,099	0,024	0,040	0,305	0,037	0,334	0,172	0,320	0,271
Dificuldade de integrar áreas de negócios	0,049	0,154	0,020	0,078	0,022	0,034	0,293	0,049	0,305	0,176	0,315	0,273
Dificuldade de integrar fornecedores/clientes	0,057	0,128	0,012	0,055	0,018	0,026	0,191	0,031	0,218	0,120	0,225	0,190
Falta de pessoal qualificado na empresa	0,058	0,188	0,022	0,083	0,026	0,043	0,344	0,055	0,369	0,214	0,360	0,309
Oferta limitada de pessoal qualificado no mercado	0,062	0,174	0,025	0,087	0,031	0,047	0,297	0,056	0,311	0,178	0,303	0,261
Dificuldade de interoperar tecnologias digitais	0,051	0,164	0,018	0,081	0,024	0,040	0,283	0,050	0,296	0,160	0,294	0,249
Elevados custos de soluções tecnológicas	0,104	0,281	0,028	0,138	0,044	0,067	0,496	0,091	0,552	0,297	0,523	0,455
Inadequada infraestrutura de Telecom	0,056	0,158	0,018	0,074	0,020	0,033	0,247	0,036	0,277	0,144	0,269	0,245

Fonte: Elaboração própria e PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

5. Caracterização do processo de adoção de tecnologias digitais avançadas na indústria brasileira

A partir dos dados da PINTEC-Dig, a caracterização do processo de adoção digital da indústria brasileira será realizada a partir dos seguintes indicadores:

1. Grau de extensividade das tecnologias digitais nas funções empresariais das firmas;
2. Índice de digitalização, que mensura tanto a intensidade de uso de várias tecnologias e a abrangência das funções empresariais que se digitalizam;
3. O foco da trajetória tecnológica perseguida pela adoção digital diferenciando entre a busca pela eficiência de outros objetivos estratégicos de posicionamento da empresa no longo prazo;
4. Fontes do estímulo à digitalização
5. Natureza do obstáculo à digitalização

Passamos a apresentar os resultados de cada um deles por setor e por tamanho a partir das Tabelas 13 e 14.

5.1 Índice de digitalização

O índice de digitalização é um indicador que contempla três dimensões: a intensidade da adoção (total ou parcial); a extensividade da adoção entre funções e o grau de utilização das seis tecnologias digitais (Big data, Computação na nuvem, Inteligência Artificial, Internet das coisas, Manufatura aditiva e Robótica).

Utilizando as questões Q3 a Q8 do questionário, o índice se define como:

$$D_k = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^5 \mu_{ij}^k$$

Ou seja, o índice de digitalização da empresa k -ésima é igual ao somatório dos valores que toma a intensidade da adoção (μ) em cada uma das 5 funções da firma e em cada uma das 6 tecnologias digitais contempladas. A intensidade da adoção toma valor 1 quando a utilização é predominante; 0,5 quando é parcial e 0 quando não há utilização. Os valores máximo e mínimo do índice de digitalização são 30 e 0 respectivamente, isto é, é máximo quando a adoção é predominante em todas as funções empresariais e em todas as tecnologias digitais e mínimo quando a firma não utiliza nenhum formato digital em nenhuma das tecnologias e em nenhuma das funções.

Para obtermos um valor agregado por ramo de atividade e por intervalo de tamanho, se aplica o seguinte cálculo:

$$D_A = \frac{\sum_{k=1}^n D_k}{30n} * 100 \quad [2]$$

Onde D_A é o índice de digitalização agregado por ramo de atividade ou por intervalo de tamanho; D_k é o índice de digitalização calculado para a firma k -ésima e n é o número de empresas que

digitaliza dentro de cada nível de agregação. Neste caso, o valor do denominador ($30n$) é o valor máximo que tomaria o índice de digitalização se todas as empresas do ramo de atividade ou do intervalo de tamanho utilizassem predominantemente todas as 6 tecnologias digitais em todas e cada uma das 5 funções empresariais.

O grau de utilização por tecnologias digitais (U_{jk}) é um componente do índice de digitalização que agrega para cada j-tecnologia a intensidade em que a tecnologia foi incorporada (μ) em todas e cada uma das cinco i-funções.

$$U_{jk} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$$

O valor máximo de este indicador é igual a 5. Por exemplo, seria o caso de uma empresa que utiliza totalmente Big Data em todas e cada de suas funções. Como nos casos anteriores, para obtermos um indicador agregado por ramo de atividade e por intervalo de tamanho, se aplica o seguinte cálculo:

$$U_{jA} = \frac{\sum_{k=1}^n U_k}{5n} * 100 \quad [2]$$

Onde U_{jA} é o grau de utilização de cada uma das tecnologias digitais agregado por ramo de atividade ou por intervalo de tamanho; U_k é o grau de utilização calculado para a firma k-ésima e n é o número de empresas que digitaliza dentro de cada nível de agregação. Neste caso, o valor do denominador ($5n$) é o valor máximo que tomaria o grau de utilização de cada tecnologia se todas as empresas do ramo de atividade ou do intervalo de tamanho utilizassem predominantemente essa específica tecnologia em todas e cada uma das 5 funções empresariais

Os resultados da Tabela 8 mostram que o índice de digitalização na indústria, considerando a abrangência de aplicação nas diversas funções da empresa, é de 18,5%. Considerando que, em média, a indústria estende o uso de tecnologias digitais a no mínimo 3 funções empresariais, um percentual tão baixo significa que o uso de tecnologias só se restringe na média, como máximo, ao uso predominante de uma única tecnologia somada, talvez, o uso parcial de uma segunda tecnologia.

O índice de digitalização não difere muito entre a indústria de transformação e as indústrias extrativas, situando-se em ambos os casos em torno de 18%. As diferenças interindustriais medidas pelo coeficiente de variação são baixas (0,21). O valor máximo se registra na indústria de Bebidas (28%) e com valores acima de um desvio padrão sobre a média ainda se incluem os ramos de Coque, petróleo e biocombustíveis (22,8%), Metalurgia (25,7%) e Equipamentos de informática e eletrônica (25,5%). O menor valor do índice de digitalização está em Outros equipamentos de transporte (11,86%) e na indústria do Fumo (12,9%).

Com relação ao tamanho, a digitalização é maior nas empresas grandes (24,18%) e menor nas de porte pequeno (16,93%) com diferenças entre tamanho também sensivelmente maiores às visualizadas no índice de extensividade com um coeficiente de variação de 0,21 (tabela 14). Como o índice de extensividade é muito similar entre tamanhos, pode-se deduzir que quanto maior o tamanho maior o uso intensivo (número) de tecnologias digitais avançadas adotadas.

Tabela 8. Índice de digitalização da indústria e grau de utilização de tecnologias digitais por ramo de atividade e tipo de tecnologia

Destaque: um desvio padrão acima da média.

Atividades da indústria	Índice de digitalização (D)	Grau de utilização das tecnologias digitais					
		BIG DATA	COMPUTAÇÃO NA NUVEM	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	INTERNET DAS COISAS	MANUFATURA ADITIVA	ROBÓTICA
Total Indústria	18,57%	14,88%	46,14%	7,27%	26,94%	6,49%	9,69%
Indústrias extrativas	18,46%	23,79%	52,46%	5,41%	19,28%	0,71%	9,11%
Indústrias de transformação	18,57%	14,61%	45,95%	7,33%	27,17%	6,67%	9,70%
Fabricação de produtos alimentícios	15,51%	15,48%	41,55%	6,26%	23,36%	1,66%	4,78%
Fabricação de bebidas	28,00%	31,49%	64,02%	10,97%	34,55%	8,52%	18,43%
Fabricação de produtos do fumo	12,97%	9,60%	47,06%	3,54%	15,08%	0,00%	2,53%
Fabricação de produtos têxteis	16,91%	12,21%	44,48%	4,10%	23,32%	11,28%	6,05%
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	19,62%	15,63%	43,64%	11,26%	38,36%	2,81%	5,99%
Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados	15,72%	11,44%	38,56%	1,97%	31,58%	6,38%	4,36%
Fabricação de produtos de madeira	14,32%	9,36%	41,77%	3,46%	23,14%	3,15%	5,06%
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	22,06%	18,18%	59,49%	8,50%	31,27%	3,35%	11,54%
Impressão e reprodução de gravações	21,76%	21,14%	57,01%	6,15%	26,64%	9,63%	10,01%
Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	22,85%	21,20%	51,09%	15,28%	42,33%	1,73%	5,48%
Fabricação de produtos químicos	16,08%	14,71%	49,70%	5,79%	17,12%	2,99%	6,15%
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	21,51%	24,61%	57,82%	9,95%	23,58%	1,10%	12,00%
Fabricação de artigos de borracha e plástico	19,09%	12,03%	48,25%	6,42%	24,16%	10,43%	13,23%
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	18,21%	11,89%	50,09%	4,87%	25,26%	3,71%	13,43%
Metalurgia	25,77%	24,26%	49,56%	15,47%	40,15%	2,97%	22,21%
Fabricação de produtos de metal	19,29%	20,74%	44,55%	6,74%	24,82%	7,95%	10,95%
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	25,50%	11,06%	58,53%	18,75%	35,09%	16,32%	13,26%
Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	18,00%	8,93%	48,23%	6,13%	16,32%	15,38%	13,04%
Fabricação de máquinas e equipamentos	20,27%	9,64%	44,87%	6,06%	32,12%	15,02%	13,91%
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	21,28%	20,94%	44,68%	8,57%	28,30%	7,82%	17,37%
Fabricação de outros equipamentos de transporte	11,86%	7,47%	29,26%	9,36%	9,23%	7,44%	8,40%
Fabricação de móveis	17,06%	6,76%	42,77%	6,24%	36,23%	3,64%	6,73%
Fabricação de produtos diversos	17,93%	11,11%	35,54%	10,26%	27,91%	12,75%	10,02%
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	17,56%	8,96%	46,07%	8,34%	30,74%	5,88%	5,39%
Coefficiente de Variação na Indústria de Transformação	0,21	0,43	0,17	0,50	0,30	0,72	0,50

Tabela 9. Índice de digitalização da indústria e grau de utilização de tecnologias digitais por intervalo de tamanho e tipo de tecnologia.

Destaque: 1 desvio padrão acima da média

Intervalos de tamanho	Índice de digitalização (D)	Grau de utilização das tecnologias digitais					
		BIG DATA	COMPUTAÇÃO NA NUVEM	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	INTERNET DAS COISAS	MANUFATURA ADITIVA	ROBÓTICA
Total Indústria	18,57%	14,88%	46,14%	7,27%	26,94%	6,49%	9,69%
De 100 a 249	16,93%	11,28%	44,47%	5,48%	27,71%	5,73%	6,89%
De 250 a 499	17,46%	15,10%	45,66%	4,80%	24,04%	5,59%	9,55%
Com 500 e mais	24,18%	24,26%	51,12%	14,79%	28,09%	9,53%	17,33%
Coefficiente de Variação	0,21	0,40	0,08	0,67	0,08	0,32	0,48

(T), Total empresas por ramo de atividade; (D) Total empresas que digitaliza por ramo de atividade.

Fonte: Elaboração própria a partir da PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

O grau de utilização de tecnologias digitais segue o padrão anteriormente observado em nível agregado, isto é, concentrado nas tecnologias de computação na nuvem e internet das coisas. No entanto, observam-se algumas diferenças interindustriais interessantes na intensidade de uso de tecnologias digitais (um desvio padrão acima da média) (ver Tabela 8). Adicionalmente, observa-se também que as diferenças interindustriais são mais acusadas nas tecnologias menos adotadas que nas mais adotadas. Os menores coeficientes de variação intersetoriais se localizam em computação na nuvem (0,17) e em internet das coisas (0,3), e os maiores se localizam em manufatura aditiva (0,72), inteligência artificial e robótica (ambos com 0,5). Esta observação significa que quanto mais avança a adoção de tecnologias digitais, mais se revela sua permeabilidade intersetorial. Quando a adoção ainda é baixa, só algumas indústrias liderarão o processo de adoção, provavelmente aquelas em que os problemas tecnológicos são mais sensíveis às soluções tecnológicas fornecidas por específicas tecnologias digitais.

Como visto anteriormente, os setores que mais digitalizam são os de Bebidas, Coque e petróleo, Metalurgia e Equipamento de informática e eletrônica. Estes setores se caracterizam por apresentar graus de utilização relativamente mais elevados, mas enquanto uns se concentram em poucas tecnologias, outros diversificam seu uso. Assim, o setor de bebidas se concentra mais em big data, computação na nuvem, e robótica, isto é, tecnologias relacionadas com processos. Este resultado é esperado, dado que se trata de uma indústria com bastantes características do grupo dos dominados pelos provedores. O setor de Coque e petróleo combina inteligência artificial com internet das coisas para controlar seus processos intensivos em economias de escala. A indústria Metalúrgica, mesmo sendo também intensiva em economias de escala, diversifica mais o uso de tecnologias digitais entre big data, inteligência artificial, internet das coisas e robótica. Já o setor de equipamento eletrônico e informática, cujo padrão de inovação se corresponde com os Baseados na ciência, envolve um maior equilíbrio entre inovações de processo e de produto, diversifica sua adoção digital entre computação na nuvem, inteligência artificial, internet das coisas e manufatura aditiva.

No resto de setores, onde o índice de digitalização é menor em termos agregados, há alguns destaques interessantes no sentido de que revelam adoção de alguma tecnologia digital de forma relativamente intensiva em relação ao resto das indústrias. Assim, por exemplo, a indústria extrativa se destaca por uma adoção relativamente mais intensiva em Big Data; Têxtil e Produtos diversos em manufatura aditiva; Vestuário e Móveis em Internet das coisas; Papel e Celulose e Reprodução de Gravações em computação na nuvem; a indústria Farmacêutica em Big Data e computação na nuvem; e a indústria Automotiva em Robótica.

Uma última observação da Tabela 8 é a de que existe um grupo de setores com algum grau de digitalização e utilização de tecnologias digitais, mas são ainda baixos situando-se abaixo da média para todas as tecnologias. São os casos das indústrias de Alimentos, Fumo, Couro, Madeira, Borracha e Plástico, Minerais não metálicos, Outro equipamento de transporte e Reparação de máquinas e equipamentos. Este conjunto de indústrias conformariam o grupo das mais retardatárias para todas as tecnologias digitais contempladas.

Em último lugar, com relação ao tamanho, fica claro o predomínio das grandes empresas para qualquer que seja a tecnologia, sempre com graus de utilização um padrão acima da média, exceto

no caso de Internet das coisas. Como observado anteriormente, ao ser esta uma das tecnologias mais utilizadas na indústria, conta com uma maior permeabilidade não só entre indústrias, mas também entre intervalos de tamanho. As maiores diferenças entre tamanho também se localizam nas tecnologias menos digitalizadas, como são os casos de a inteligência artificial, a robótica e, em menor medida, Big Data.

5.2 Grau de extensividade das tecnologias digitais avançadas

O grau de extensividade mensura a transversalidade da utilização de alguma tecnologia digital entre as 5 funções empresariais contempladas na PINTEC-Dig (Desenvolvimento de produtos, produção, logística, administração e comercialização) de acordo com a intensidade de adoção (μ).

Utilizando a Q1 do questionário, o índice se define como:

$$E_k = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$$

Ou seja, o índice de extensividade da empresa k -ésima é igual ao somatório dos valores que toma μ em cada uma das 5 funções empresariais. Os valores máximo e mínimo do índice são 5 e 0 respectivamente, isto é, quando a adoção é predominante em todas as funções empresariais ou quando a firma não utiliza nenhum formato digital em nenhuma das funções.

Para obtermos o valor agregado do indicador por ramo de atividade e por intervalo de tamanho (E_A), aplica-se o seguinte cálculo:

$$E_A = \frac{\sum_{k=1}^n E_k}{5n} * 100$$

Onde E_k é o índice de extensividade calculado para a firma k -ésima e n é o número de empresas da amostra que se encontra dentro de cada nível de agregação (ramo de atividade a 2 dígitos CNAE na agregação setorial ou intervalos de tamanho por número de empregados). Observe-se que o valor do denominador ($5n$) é o valor máximo que tomaria o índice de extensividade se todas as empresas do ramo de atividade ou do intervalo de tamanho utilizassem predominantemente tecnologias digitais em todas as funções empresariais. Alternativamente utilizamos também como valor de n o número total de empresas que digitaliza por ramo de atividade e intervalo de tamanho.

O valor do indicador E_A está expresso em termos percentuais. Um percentual de 50% de utilização significaria que a extensividade foi de 2,5/5, ou seja, que *pele menos* a empresa **adota** tecnologias digitais em três funções [em duas funções empresariais predominantemente e em uma terceira parcialmente]. Como a adoção de tecnologias digitais pode ser predominante ou parcial, o uso de tecnologias digitais poderia ser ainda mais extenso, por exemplo, adota tecnologias digitais em todas as funções parcialmente. Valores acima do 80% envolveriam uma extensividade das tecnologias às 5 funções empresariais ao menos parcialmente.

Os resultados apresentados na Tabela 13 mostram que não há fortes diferenças intersetoriais no grau de extensividade, embora o coeficiente de variação indique que as diferenças são levemente

maiores quando calculado com o número total de empresas (0,09) que quando calculado com o número de empresas que digitaliza (0,21). Em média, para o total da indústria e considerando o total de empresas, o grau de extensividade é de 65,18%, não havendo diferenças significativas entre a indústria de transformação (65,19%) e as extrativas (65,02%). Estes valores indicam que, na média, o uso de tecnologias digitais se estende pelo menos a três funções dentro da empresa. Os setores com aplicação mais extensiva são Coque, petróleo e biocombustíveis (76,0%), Produtos de Metal (72,0%), Equipamentos de informática e eletrônica (78,4%) e Máquinas e material eletrônico (72,7%).

Descartando as empresas que não digitalizam, isto é, recalculando o indicador apenas considerando a extensividade das tecnologias entre as firmas que digitalizam, o grau de extensividade muda de patamar. A média da indústria se situa em 76,82% e as diferenças entre a indústria de transformação (77,01%) e as indústrias extrativas (70,49%) se acentuam. Em 11 indústrias os valores do grau de extensividade se situam acima do 80%. Os ramos de atividade com valores de um desvio padrão acima da média da indústria foram Celulose e Papel (91,18%), Coque, petróleo e biocombustíveis (96,87%), Farmácia (85,37%) e Equipamentos de informática e eletrônica (86,45%).

O índice de extensividade deveria estar correlacionado com o índice de digitalização dado que, pela própria construção dos índices, quanto maior a extensividade, maior o valor do índice de digitalização. Este é o caso das indústrias de Coque, petróleo e biocombustíveis e de Equipamentos de informática e eletrônica. Sem embargo, para o conjunto da indústria, a correlação entre ambos os índices é baixa (0,42). Isto acontece porque, salvo exceções, as indústrias que se digitalizam de forma mais extensiva, isto é, para um amplo conjunto de funções empresariais, se especializam apenas em algumas poucas tecnologias digitais. Este seria o caso das indústrias farmacêutica e de Papel e celulose. De forma alternativa, indústrias que se digitalizam em poucas funções empresariais, podem fazê-lo aplicando um maior número de tecnologias digitais e por tanto destacam por cima da média mais como indústrias digitalizadas que por aplicarem tecnologias digitais de forma extensiva. Este seria o caso das indústrias de Bebidas e Metalurgia.

Em termos de tamanho, a extensividade é maior nas empresas grandes e menor nas de porte médio nos dois indicadores (tabela 14). Sem embargo, as diferenças entre intervalos de tamanho são muito pequenas, especialmente entre o conjunto de empresas que digitaliza (0,02). Os valores do indicador nos três tamanhos se situam acima do 75%, o que significa que o uso extensivo de tecnologias digitais é uma característica da adoção de tecnologias digitais independentemente do tamanho.

5.3 Foco da trajetória de acumulação tecnológica digital

Esse indicador pretende identificar o tipo de ganho que a firma persegue e a razão que direciona os esforços de adoção das empresas em tecnologias digitais avançadas. A Q9 da PINTEC-Dig identifica 7 possíveis ganhos que representariam focos. Quatro deles se referem à eficiência produtiva (redução de custos, melhora do relacionamento com clientes e fornecedores, melhor atendimento ao mercado ou maior flexibilidade na atividade interna da firma). Os outros três tem um caráter mais estratégico como a reputação (redução do impacto ambiental em relação com a

responsabilidade social corporativa), a maior capacitação para inovar e assim obter ou manter uma vantagem competitiva no longo prazo (maior capacidade de desenvolvimento de produtos e serviços novos ou aprimorados) e o crescimento da firma mediante diversificação geográfica ou de produto (entrada em novos mercados).

A partir desta diferenciação, os 7 ganhos da digitalização da PINTEC-Dig (Quadro 3) serão agrupados em duas categorias para a firma k -ésima que representam diferentes focos da trajetória de adoção. Uma primeira categoria agrupa aqueles ganhos que tem a ver com a eficiência dos processos produtivos (EFI) (b_1, b_3, b_5, b_6). Uma segunda categoria agrupa os que consideramos tem um certo caráter estratégico por estarem relacionados com reputação, capacitação e crescimento de longo prazo (EFI) (b_2, b_4, b_7).

Quadro 3 – Indicadores desagregados por tipo de benefício (Firma k -ésima)

$b_{k1} = 1$ se Q9.1 = 1; $b_{k1} = 0$ se Q9.1 = 2
$b_{k2} = 1$ se Q9.2 = 1; $b_{k2} = 0$ se Q9.2 = 2
$b_{k3} = 1$ se Q9.3 = 1; $b_{k3} = 0$ se Q9.3 = 2
$b_{k4} = 1$ se Q9.4 = 1; $b_{k4} = 0$ se Q9.4 = 2
$b_{k5} = 1$ se Q9.5 = 1; $b_{k5} = 0$ se Q9.5 = 2
$b_{k6} = 1$ se Q9.6 = 1; $b_{k6} = 0$ se Q9.6 = 2
$b_{k7} = 1$ se Q9.7 = 1; $b_{k7} = 0$ se Q9.7 = 2

Definimos estes indicadores como segue:

$$EFI_k = (b_{k1} + b_{k3} + b_{k5} + b_{k6})/4$$

$$EST_k = (b_{k2} + b_{k4} + b_{k7})/3$$

Como as variáveis b_{ki} são binomiais, isto é, só podem tomar apenas valores 1 ou 0, os valores EFI e EST representam a propensão da firma k -ésima a indicar proporcionalmente um número maior de benefícios de tipo ‘busca-pela-eficiência’ ou do tipo ‘estratégico’.

Para obtermos um valor agregado por ramo de atividade e por intervalo de tamanho, se aplica o seguinte cálculo para cada um dos índices do foco da adoção digital:

$$F_A^e = \frac{\sum_{k=1}^n F_k^e}{n} * 100 \quad [2]$$

Onde F_A^e é o indicador do foco da adoção digital por ramo de atividade ou por intervalo de tamanho; F_k^e é o índice do foco da adoção digital da firma k -ésima onde supraíndice e se refere a cada uma das categorias do foco da adoção (EFI) ou (EST); e n é o número de empresas que digitaliza dentro de cada nível de agregação. Como o indicador está calculado em percentual, o valor máximo que tomaria para cada nível de agregação seria 100, isto é, se todas as empresas indicassem como ganhos todos os componentes de cada foco (eficiência ou estratégia).

Os valores médios dos indicadores EFI e EST para o total da indústria são 86,9% e 64,6% respectivamente (Tabela 13). No caso do EFI, nenhuma indústria tem valor inferior a 75%. Isto significa que, em média, todos os setores de atividade industrial indicam, pelo menos, 3 ganhos de

eficiência perseguidos entre os 4 possíveis. Já no caso de EST, 14 dos 25 ramos de atividade industrial indicaram propensões inferiores a 66,7%, isto é, indicaram em média menos de 2 ganhos de tipo estratégico na adoção digital avançada. Esta observação permite concluir que o foco da trajetória de adoção digital está nos ganhos de eficiência.

As diferenças intersetoriais são muito pequenas nos dois focos da trajetória de adoção. Os valores mais altos do foco na Eficiência, com um desvio padrão acima da média, se localizam nos setores de Bebidas (94,6%), Madeira (91,6%), Impressão e Reprodução (92,1%) e Equipamentos de informática e eletrônica (92,5%). Já no foco na Estratégia destacam relativamente mais as indústrias de Confeção (71,3%), Papel e Celulose (72,4%) e Impressão e reprodução (78,3%). Ambos os indicadores (EFI e EST) guardam uma certa correlação positiva com o índice de digitalização (0,52 e 0,50 respectivamente), isto é, quanto maior a adoção digital de tecnologias avançadas, maior é a propensão a identificar os ganhos da adoção, especialmente os relativos à eficiência. A correlação com o índice de digitalização é maior que com o índice de extensividade, o que permite deduzir que a identificação dos ganhos está mais relacionada com o uso intensivo (diverso) de tecnologias digitais, mas do que sua utilização extensiva a um número diverso de funções empresariais.

Tabela 10 – Indicadores de digitalização da indústria brasileira por ramo de atividade econômica CNAE-2dig.

Destaque: um desvio padrão acima da média.

Atividades da indústria	Grau de extensividade (T)	Grau de extensividade (D)	Foco da trajetória de digitalização (D)		Fontes de digitalização (D)				Obstáculos à digitalização (D)			
			Eficiência	Estratégia	Fornecedores / clientes	Concorrência	crescimento interno de longo prazo	programas de incentivo público/privado	Ação do estado	Interações tecnológicas	Qualificação da mão de obra	Implementação de tecnologia
Total Indústria	65,18%	76,82%	86,94%	64,64%	62,98%	50,77%	86,97%	25,95%	43,21%	42,63%	51,74%	53,70%
Indústrias extrativas	65,02%	70,49%	81,25%	65,73%	36,09%	36,27%	90,24%	28,96%	59,20%	36,43%	54,58%	54,69%
Indústrias de transformação	65,19%	77,01%	87,11%	64,60%	63,80%	51,21%	86,88%	25,86%	42,72%	42,82%	51,65%	53,67%
Fabricação de produtos alimentícios	60,02%	69,98%	89,20%	61,61%	61,38%	42,73%	80,93%	19,63%	45,33%	46,62%	59,08%	61,24%
Fabricação de bebidas	70,79%	77,30%	94,65%	66,86%	98,46%	69,33%	62,08%	39,89%	48,87%	46,08%	63,84%	55,68%
Fabricação de produtos do fumo	60,66%	70,49%	79,74%	52,91%	48,57%	42,75%	91,38%	23,17%	40,24%	35,00%	71,38%	49,07%
Fabricação de produtos têxteis	62,29%	74,40%	78,63%	62,24%	53,04%	40,89%	87,82%	22,83%	37,41%	40,94%	47,46%	47,32%
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	60,37%	84,36%	87,69%	71,31%	82,45%	64,94%	80,86%	33,27%	30,99%	42,60%	49,76%	44,29%
Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados	60,01%	75,00%	80,95%	64,89%	65,03%	49,07%	71,81%	34,07%	40,06%	49,99%	55,00%	47,54%
Fabricação de produtos de madeira	59,82%	82,81%	91,63%	68,61%	67,00%	58,52%	83,61%	41,65%	41,34%	44,04%	63,80%	55,20%
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	68,08%	91,18%	86,76%	72,43%	78,05%	63,34%	90,94%	27,19%	29,95%	42,36%	35,64%	49,19%
Impressão e reprodução de gravações	70,52%	80,29%	92,10%	78,27%	63,44%	74,25%	92,18%	21,44%	49,31%	44,89%	68,93%	54,56%
Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	76,00%	96,87%	87,79%	62,91%	40,62%	31,65%	96,71%	36,69%	43,20%	48,11%	57,88%	58,34%
Fabricação de produtos químicos	68,11%	76,24%	81,78%	59,32%	61,75%	48,45%	83,01%	33,92%	47,34%	34,98%	41,61%	54,98%
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	67,93%	85,37%	90,90%	63,50%	37,49%	56,20%	99,08%	16,80%	41,17%	39,21%	39,46%	49,20%
Fabricação de artigos de borracha e plástico	63,67%	76,85%	83,58%	65,50%	58,53%	51,90%	99,65%	28,68%	43,61%	44,46%	50,36%	46,33%
Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	65,50%	72,96%	87,89%	66,92%	61,49%	59,51%	94,30%	21,59%	49,25%	40,68%	49,35%	51,64%
Metalurgia	61,12%	80,85%	86,07%	66,71%	67,85%	33,77%	81,60%	30,85%	59,52%	49,78%	59,83%	68,98%
Fabricação de produtos de metal	72,06%	78,38%	89,74%	69,31%	71,48%	52,17%	92,13%	20,94%	33,45%	44,47%	42,37%	55,27%
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	78,40%	86,45%	92,50%	69,36%	74,17%	69,62%	89,44%	39,03%	47,78%	32,13%	44,05%	42,36%
Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	72,73%	80,00%	91,15%	62,22%	48,49%	47,87%	96,26%	17,50%	33,54%	35,26%	50,42%	53,28%
Fabricação de máquinas e equipamentos	71,62%	75,81%	90,51%	66,31%	73,58%	55,66%	87,36%	30,46%	46,64%	45,77%	51,68%	50,35%
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	68,30%	75,71%	88,77%	62,41%	61,86%	50,58%	86,31%	20,91%	36,86%	43,88%	44,96%	58,27%
Fabricação de outros equipamentos de transporte	55,16%	80,83%	80,62%	57,18%	71,00%	58,44%	85,04%	10,26%	62,39%	48,34%	57,90%	71,72%
Fabricação de móveis	63,89%	81,61%	85,79%	62,60%	63,03%	60,62%	88,75%	18,98%	43,61%	44,25%	66,99%	62,08%
Fabricação de produtos diversos	63,57%	69,09%	75,72%	53,64%	44,26%	44,71%	87,42%	28,86%	44,79%	37,00%	41,88%	48,32%
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	60,41%	76,55%	91,12%	68,11%	58,38%	51,60%	91,32%	21,32%	48,46%	23,53%	57,03%	39,09%
Coefficiente de Variação na Indústria de Transformação	0,09	0,08	0,06	0,09	0,22	0,21	0,10	0,31	0,18	0,15	0,19	0,15
Correlação com o índice de digitalização		0,42	0,53	0,50	0,32	0,22	-0,12	0,41	0,02	0,12	-0,18	-0,07

(T), Total empresas por ramo de atividade; (D) Total empresas que digitaliza por ramo de atividade.

Tabela 11 – Indicadores de digitalização da indústria brasileira por intervalo de tamanho (faixas de pessoal ocupado).

Destaque: acima da média

Faixas de pessoal ocupado nas atividades da indústria	Grau de extensividade (T)	Grau de extensividade (D)	Índice de digitalização (D)	Foco da trajetória de digitalização (D)		Fontes de digitalização (D)				Obstáculos à digitalização (D)			
						Fornecedores / clientes	Concorrência	crescimento interno de longo prazo	programas de incentivo público/privado	Ação do estado	Interações tecnológicas	Qualificação da mão de obra	Implementação de tecnologia
				Eficiência	Estratégia								
Total Indústria	65,18%	76,82%	18,57%	86,94%	64,64%	62,98%	50,77%	86,97%	25,95%	43,21%	42,63%	51,74%	53,70%
De 100 a 249	61,99%	76,66%	16,93%	84,26%	62,93%	59,77%	48,76%	83,86%	23,43%	41,66%	40,37%	51,18%	53,39%
De 250 a 499	66,84%	75,95%	17,46%	88,10%	65,57%	65,11%	51,59%	89,30%	28,80%	45,67%	44,37%	54,64%	52,52%
Com 500 e mais	73,11%	78,22%	24,18%	92,80%	68,18%	69,21%	55,25%	92,71%	29,56%	44,62%	46,74%	49,98%	55,82%
Coef.Var.	0,08	0,02	0,21	0,05	0,04	0,07	0,06	0,05	0,12	0,05	0,07	0,05	0,03

(T), Total empresas por ramo de atividade; (D) Total empresas que digitaliza por ramo de atividade.

Fonte: Elaboração própria a partir da PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

Como esperado, a identificação dos ganhos da adoção digital é maior com o tamanho da empresa. As diferenças entre tamanhos são muito reduzidas tanto para o indicador de foco na eficiência (0,05) como na estratégia (0,04) (Tabela 14). No caso do foco na estratégia, as empresas médias e grandes tendem a aproximar-se entre si e ambas se distanciam do comportamento das pequenas.

5.4 Fontes ou estímulos à adoção de tecnologias digitais avançadas.

A fonte ou estímulo da digitação representa também uma característica distintiva do processo de digitalização em empresas que pode adquirir particularidades setoriais. A Q10 da PINTEC-Dig identifica 4 possíveis fontes de estímulo à adoção: as interações com fornecedores e clientes (s_1), a influência da concorrência (s_2), a estratégia interna ou autônoma da empresa como parte de sua estratégia de crescimento (s_3), e a possibilidade de aproveitar as oportunidades oferecidas através de programas de apoio públicos ou privados (s_4).

Com o objetivo de elaborar o padrão, os indicadores que surgem a partir do vetor de variáveis reportadas na Q10 são os apresentados na Tabela X4.

Quadro 2 – Indicadores relativos às fontes de digitalização. (Firma k-ésima)

$s_1 = 1$ se Q10.1 = 1; $s_1 = 0$ se Q10.1 = 2
$s_2 = 1$ se Q10.2 = 1; $s_2 = 0$ se Q10.2 = 2
$s_3 = 1$ se Q10.3 = 1; $s_3 = 0$ se Q10.3 = 2
$s_4 = 1$ se Q10.4 = 1; $s_4 = 0$ se Q10.4 = 2

Para obtermos um valor agregado por ramo de atividade e por intervalo de tamanho, aplica-se o seguinte cálculo para cada uma das fontes da adoção digital:

$$S_A^i = \frac{\sum_{k=1}^n S_k^i}{n} * 100 \quad [2]$$

Onde S_A^i é o indicador da fonte de adoção digital por ramo de atividade ou por intervalo de tamanho; S_k^i é o valor da variável binomial [1,0] relativa ao tipo de estímulo para a adoção digital da firma k-ésima e onde o supraíndice i se refere a cada uma das fontes de adoção; e n é o número de empresas que digitaliza dentro de cada nível de agregação. Como o indicador está calculado em percentual representaria uma propensão ou probabilidade de que, na média, uma determinada fonte de adoção seja apontada. O valor máximo dos indicadores para cada nível de agregação é 100, isto é, quando todas as empresas de cada intervalo de agregação [ramo de atividade ou tamanho] indicam com valor 1 uma específica origem da adoção.

No total da indústria, a principal fonte ou estímulo para a adoção é o *crescimento interno da firma no longo prazo* em que a propensão média é de 86,9%, praticamente igual à da indústria de transformação (86,8%) (Tabela 13). Este elevado índice significa que ao menos 4 de cada 5 empresas industriais indicaram esta fonte como estímulo para se digitalizar. Ademais, esta fonte é a que apresenta o menor coeficiente de variação (0,1). Esta observação caracteriza a adoção digital, sobretudo, como um processo de adaptação ao médio em sentido evolucionista para a

sobrevivência de longo prazo. Os setores com propensões um desvio padrão acima da média são Coque, petróleo e biocombustíveis (96,7%), Farmacêutica (99,08%), Borracha e plástico (99,6%) e Máquinas e material elétrico (92,26%).

A seguinte fonte em ordem de importância é a relativa às relações com fornecedores e clientes, sendo esta uma conhecida fonte de conhecimento (tabela 13). As relações ao longo da cadeia produtiva podem puxar a adaptação digital na medida em que existem ganhos de eficiência associados à incorporação destas tecnologias quando ambas as partes do elo as incorporam. A propensão a indicar esta fonte na indústria é de 62,9% e na indústria de transformação de um 63,8%, ou seja, é uma fonte indicada praticamente em 2 de cada 3 empresas industriais. As diferenças interindústrias nesta fonte são as maiores, com um coeficiente de variação de 0,22; mesmo assim, são baixas. Seguindo o padrão de inovação, é razoável pensar que este tipo de fonte adquira uma maior importância em aquelas indústrias em que as relações produtor-usuário são importantes. No padrão de inovação de Pavitt (1984), estas indústrias seriam as dominadas pelos provedores (indústrias tradicionais) na cadeia a jusante e as indústrias fornecedoras especializadas na cadeia a montante. Os resultados identificam a importância desta fonte um desvio padrão acima da média nas indústrias dominadas pelos provedores, como são as de Bebidas (94,4%), Confecção e Vestuário (82,45%) e Papel e Celulose (78,2%). Os fornecedores especializados também aparecem com uma certa importância -acima da média-, com valores entre 71% e 74%. São os casos das indústrias de Produtos de metal, Equipamento de informática e eletrônica, Máquinas e equipamentos e de Outros equipamentos de transporte. Já os valores mais baixos se situaram nas indústrias Extrativas e em Farmácia, onde apenas 1 de cada 3 empresas indicou esta fonte como relevante.

A seguinte fonte mais importante é a concorrência, com uma propensão média na indústria de 50,7% e de 51,2% na indústria manufatureira (tabela 13). As diferenças interindústrias são similares às apresentadas pelos estímulos das relações com fornecedores e clientes, com um coeficiente de variação de 0,21. Os ramos de atividade que apresentam propensões um desvio padrão acima da média são indústrias em que se situam nos elos das cadeias produtivas mais próximos do consumo final como Bebidas (69,3%), Confecção e Vestuário (64,9%), Papel e Celulose (63,3%), Impressão e gravações (74,2%) e Equipamento de informática e eletrônica. Alternativamente, os valores mais baixos se situam nas indústrias que se encontram em elos da cadeia da transformação mais iniciais, como nas Extrativas (36,2%), Coque, petróleo e biocombustíveis (31,6%) e Metalurgia (33,7%).

Finalmente, a probabilidade de que aproveitar as oportunidades de incentivo de programas de apoio públicos ou privados seja um estímulo à digitalização é baixo na média da indústria e das manufaturas (25,9% e 25,8% respectivamente) (tabela 13). As diferenças interindustriais apresentam o coeficiente de variação mais elevado, embora ainda pequeno (0,31). Os ramos de atividade que apresentam propensões mais elevadas, com um desvio padrão acima da média, são os de Bebidas (39,9%), Madeira (41,6%), Coque, petróleo e biocombustíveis (36,7%) e Equipamento de informática e eletrônica (39,0%). Este tipo de fonte é a que está mais correlacionada com o índice de digitalização positivamente.

Todas as fontes ou estímulos à digitalização seguem o mesmo padrão por intervalo de tamanho. As propensões são maiores nas grandes empresas, seguido das médias e por último das pequenas.

Todavia, as diferenças entre intervalos de tamanho são muito pequenas, com coeficientes de variação que variam entre 0,05 e 0,12 (tabela 14).

5.5 Natureza do obstáculo à digitalização

O último conjunto de indicadores se refere à natureza do obstáculo à digitalização. A Q11 da PINTEC-Dig identifica 10 possíveis obstáculos os quais geram o vetor de variáveis no nível da empresa O_{ki} (quadro 3). Para simplificar este elevado número de variáveis e construir uma ferramenta mais analítica, os 10 obstáculos serão agrupados em quatro grupos:

- Relacionados com a ação do estado (GOV), que incluem a ausência e/ou incertezas sobre regulações, padrões ou normas técnicas associadas às novas tecnologias (o_{k2}) e os riscos associados à segurança e privacidade (o_{k3});
- Relacionados com interações tecnológicas (INTEC), que incluem a dificuldade de integração entre as áreas de negócios (o_{k4}); a dificuldade de integração com fornecedores e/ou clientes (o_{k5}) e as dificuldades relacionadas à interoperabilidade entre diferentes tecnologias digitais (o_{k8});
- Relacionados com a qualificação da mão de obra (SKILL), que incorporam a falta de pessoal qualificado na empresa (o_{k6}) e a limitada oferta de pessoal qualificado no mercado (o_{k7}), e;
- Relacionados com a implementação das tecnologias (IMPTEC), que contempla o limitado conhecimento sobre as tecnologias digitais disponíveis (o_{k1}), os altos custos das soluções tecnológicas (o_{k9}) e a inadequada infraestrutura de telecomunicações (o_{k10}).

Quadro 3 – Vetor de variáveis relativas aos obstáculos à digitalização. (Firma k-ésima)

$o_{k1} = 1$ se Q11.1 = 1; $o_{k1} = 0$ se Q11.1 = 2
$o_{k2} = 1$ se Q11.2 = 1; $o_{k2} = 0$ se Q11.2 = 2
$o_{k3} = 1$ se Q11.3 = 1; $o_{k3} = 0$ se Q11.3 = 2
$o_{k4} = 1$ se Q11.4 = 1; $o_{k4} = 0$ se Q11.4 = 2
$o_{k5} = 1$ se Q11.5 = 1; $o_{k5} = 0$ se Q11.5 = 2
$o_{k6} = 1$ se Q11.6 = 1; $o_{k6} = 0$ se Q11.6 = 2
$o_{k7} = 1$ se Q11.7 = 1; $o_{k7} = 0$ se Q11.7 = 2
$o_{k8} = 1$ se Q11.5 = 1; $o_{k8} = 0$ se Q11.5 = 2
$o_{k9} = 1$ se Q11.6 = 1; $o_{k9} = 0$ se Q11.6 = 2
$o_{k10} = 1$ se Q11.7 = 1; $o_{k10} = 0$ se Q11.7 = 2

Os indicadores se elaboram da seguinte forma:

$$GOV_k = (o_{k2} + o_{k3})/2$$

$$INTEC_k = (o_{k4} + o_{k5} + o_{k8})/3$$

$$SKILL_k = (o_{k6} + o_{k7})/2$$

$$IMPTEC_k = (o_{k1} + o_{k9} + o_{k10})/3$$

Como as variáveis o_{ki} são binomiais, isto é, só podem ter valores 1 ou 0, os valores dos indicadores GOV, INTEC, SKILL e IMTEC representam a propensão da firma k-ésima a concentrar os obstáculos em algum dos grupos.

Para obtermos um valor agregado por ramo de atividade e por intervalo de tamanho, se aplica o seguinte cálculo para cada um dos grupos de obstáculos:

$$O_A^e = \frac{\sum_{k=1}^n O_k^e}{n} * 100 \quad [2]$$

Onde O_A^e é o indicador do obstáculo da adoção digital por ramo de atividade ou por intervalo de tamanho; O_k^e é o índice do foco da adoção digital da firma k-ésima onde supraíndice e se refere a cada um dos grupos de obstáculos (GOV, INTEC, SKILL e IMTEC); e n é o número de empresas que digitaliza dentro de cada nível de agregação. Como o indicador está calculado em percentual, o valor máximo que tomaria para cada nível de agregação seria 100 se todas as empresas do intervalo indicassem como obstáculos todos os componentes de cada grupo.

O principal obstáculo à digitalização apontado pelas empresas é a implementação das tecnologias. Este é um obstáculo relacionado ao conhecimento sobre as tecnologias, os elevados custos vinculados ao investimento que implica sua adoção, tanto em termos de aquisição de capacitação como de equipamentos e serviços associados, e o acesso a uma adequada infraestrutura de telecomunicações (tabela 13). A média da indústria de este indicador é de 53,7%. Os ramos de atividade que apresentam valores relativamente mais elevados -um desvio padrão acima da média- são os de Alimentos (61,24%), Metalurgia (68,9%), Outro equipamento de transporte (71,7%) e Móveis (62,1%). No entanto, o coeficiente de variação entre indústrias é relativamente baixo (0,15).

Seguem em importância a qualificação da mão de obra, que inclui tanto a limitada qualificação dentro da empresa quanto a disponibilidade de mão de obra qualificada no mercado (tabela 13). A média da indústria se situa em 51,7% e as indústrias que acusam uma maior importância a este grupo de obstáculos são os de Bebidas (63,8%), Fumo (71,3%), Madeira (63,8%), Impressão e reprodução (68,9) e Móveis (66,9%), todas elas indústrias tradicionais ou de conteúdo tecnológico médio-baixo. Paradoxalmente, as indústrias mais intensivas em conhecimento como conteúdo tecnológico médio-alto como Química, Farmácia, Equipamento de informática e eletrônica ou Máquinas e aparelhos elétricos registram os valores mais baixos (entre um 40-45%).

Em terceiro lugar se situa a ação do estado em termos de estabelecimento de regulações, padrões ou normas técnicas associadas às novas tecnologias digitais e aos riscos associados à segurança e privacidade (tabela 13). O indicador para a média da indústria é de 43,2%, ou seja, dos dois obstáculos deste grupo, na média as empresas indicam menos de 1, o que significa que há um certo número de empresas que não reconhece na ação (ou inação) do estado como um obstáculo à adoção de tecnologias digitais avançadas. As diferenças interindustriais são baixas, com um coeficiente de variação de 0,18. Os maiores valores, com um desvio padrão acima da média, se localizam nas indústrias Extrativas (59,2%), Metalurgia (59,5%) e de Outros equipamentos de transporte (63,3%).

Em último lugar se coloca o grupo referente às interações tecnológicas que existem entre o novo paradigma digital e as tecnologias prévias ou mesmo entre as próprias tecnologias digitais. Este tipo

de interações perversas dificultam a integração entre as áreas de negócios, as relações com fornecedores e/ou clientes e a interoperabilidade entre diferentes tecnologias digitais. Neste grupo, a média apresentada pela indústria é de 42,6% e as diferenças interindústrias são ainda baixas, com um coeficiente de variação de 0,15. Os ramos de atividade que apresentam valores um padrão acima da média são os de Couro e Calçado (49,9%), Coque petróleo e biocombustíveis (48,1%), Metalurgia (49,7%) e outro equipamento de transporte (48,3%).

Finalmente, a identificação de obstáculos é maior entre as empresas grandes do que entre as médias e pequenas com a única exceção da qualificação da mão de obra, que é um obstáculo maiormente apontado por empresas de médio porte (Tabela 14). Todavia, as diferenças de comportamento entre diferentes tamanhos são muito pequenas, com coeficientes de variação oscilando entre 0,03 e 0,07.

6. Clusters de digitalização

Este exercício consiste na busca por padrões a partir dos indicadores reportados. Com base nos dados fornecidos pela PINTEC-Dig no nível de firma, será realizada uma análise de cluster onde, além dos indicadores tratados, a agregação setorial e o tamanho de firma também entrariam como atributos. O objetivo da análise de cluster é encontrar combinações específicas entre os indicadores que qualificam o processo de digitalização, caracterizando a firma quanto ao seu processo de adoção a partir da constituição de um padrão de adoção entre elas.

6.1 Definição de variáveis

Os indicadores utilizados para caracterizar o grau de digitalização da indústria brasileira e os ganhos e fontes associadas a esse processo estão apresentados sinteticamente no Quadro 4.

Quadro 4 – Indicadores elaborados a partir da Pintec-Dig 2023 (nível empresa)

Nome do Indicador	Fórmula	Intervalo de valores
Grau de digitalização	$D_k = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^5 \mu_{ij}^k$	[0 a 30]
Grau de utilização em BIG DATA	$U_{1k} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]
Grau de utilização em COMPUTAÇÃO NA NUVEM	$U_{2k} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]
Grau de utilização em INTELIGENCIA ARTIFICIAL	$U_{3k} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]

Grau de utilização em INTERNET DAS COISAS	$U_{4k} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]
Grau de utilização em MANUFATURA ADITIVA	$U_{5k} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]
Grau de utilização em ROBÓTICA	$U_{6k} = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]
Grau de extensividade	$P_k = \sum_{i=1}^5 \mu_{ik}$	[0 a 5]
Foco: Ganhos associados à eficiência	$EFI_k = (b_{k1} + b_{k3} + b_{k5} + b_{k6})/4$	[0 a 1]
Foco: Ganhos associados à estratégia	$EST_k = (b_{k2} + b_{k4} + b_{k7})/3$	[0 a 1]
Fonte: Fornecedor/Cliente	$e_1 = 1$ se Q10.1 = 1; $e_1 = 0$ se Q10.1 = 2	[0; 1]
Fonte: Concorrentes	$e_2 = 1$ se Q10.2 = 1; $e_2 = 0$ se Q10.2 = 2	[0; 1]
Fonte: Própria empresa	$e_3 = 1$ se Q10.3 = 1; $e_3 = 0$ se Q10.3 = 2	[0; 1]
Fonte: Programas de apoio	$e_4 = 1$ se Q10.4 = 1; $e_4 = 0$ se Q10.4 = 2	[0; 1]

A partir deste conjunto de indicadores foram elaboradas duas variáveis adicionais que também irão compor os clusters. A primeira de elas é o índice de diversificação em tecnologias, calculado a partir do grau de utilização de cada uma das tecnologias digitais. Ele calcula o peso que tem o uso de uma determinada tecnologia digital sobre o total de utilização digital que a firma realiza (ω_k):

$$\omega_{jk} = U_{jk} / D_k$$

A partir destes pesos calcula-se o Índice de Diversificação em Tecnologias Digitais (IDTD) para cada k-ésima firma, tal que:

$$IDTD_k = 1 - \sum_{j=1}^6 \omega_{jk}^2$$

Esta variável toma valores próximos a 1 quanto menor é o índice de Herfindhal-Hirschman ($\sum_{j=1}^6 \omega_{jk}^2$), isto é, quanto mais concentrado esteja o grau de uso de tecnologias digitais em apenas uma ou poucas tecnologias.

A segunda variável adicionada é o balanço entre as aplicações de tecnologia digitais ao desenvolvimento de produtos ou à sua aplicação em processos produtivos (BPP). Para isto, primeiro se calcula a utilização em cada uma dessas funções empresariais (ρ_k para desenvolvimento de produto e σ_k para desenvolvimento de processo) ponderadas pelo seu grau de utilização, isto é, tomando valor 1 se é predominante e valor 0 se é parcial.

Uma vez calculados os graus de utilização, aplicamos o seguinte indicador (BPP):

$$BPP_k = (\rho_k - \sigma_k) / (\rho_k + \sigma_k)$$

Este indicador tomaria valor igual a 1 quando se realiza uso de tecnologias digitais em desenvolvimento de produto e nada no caso de processos produtivos e valor -1 na situação inversa.

6.2 Elaboração do cluster

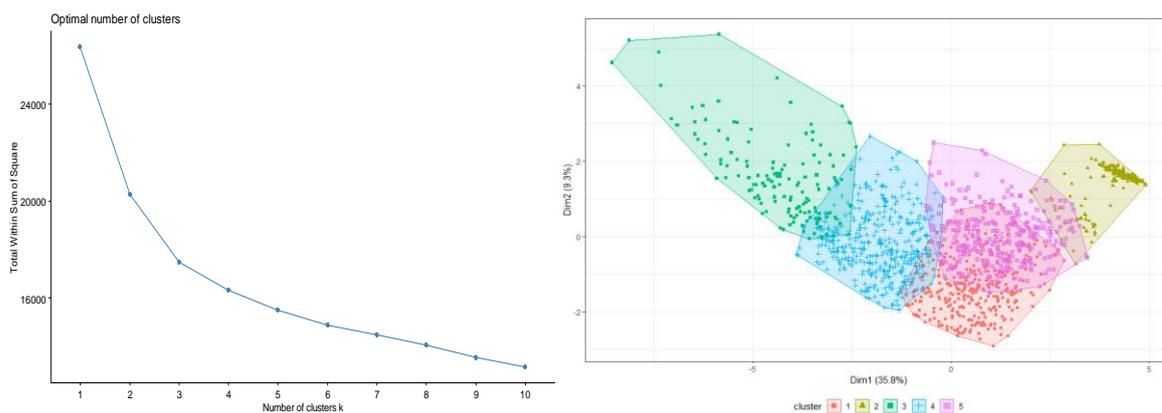
As variáveis selecionadas para elaborar a análise de cluster que servirá de base para a construção do padrão de digitalização no Brasil estão dispostas e sintetizadas no Quadro 5 abaixo. Além daquelas já tratadas no texto e apresentadas no Quadro 4, adiciona-se ainda à construção dos clusters as dimensões de setor, tamanho, índice de diversificação digital e indicador de balaço produtos-processos. A variável de setor é uma variável categórica para cada uma das 23 atividades manufatureiras a dois dígitos CNAE mais a atividade extrativa. A variável tamanho é também categórica e considera três intervalos: pequeno, médio e grande.

Quadro 5 – Síntese de valores para a elaboração do cluster

Variável	Valores	Especificação	Variável	Valores	Especificação
Tamanho	1	Pequeno	BPP_k	0	Neutro
	2	Médio		<1	Processo
	3	Grande		>1	Produto
EFI_k	0	Nulo	U_{1k}	Contínuos	Média (numérica)
	0,25	Baixo	U_{2k}	Contínuos	Média (numérica)
	0,5	Médio	U_{3k}	Contínuos	Média (numérica)
			U_{4k}	Contínuos	Média (numérica)
	1	Alto	U_{5k}	Contínuos	Média (numérica)
EST_k	0	Nulo	U_{6k}	Contínuos	Média (numérica)
	0,33	Baixo	$IDTD_k$	Contínuos	Média (numérica)
	0,66	Médio	P_k	Contínuos	Média (numérica)
	1	Alto	D_k	Contínuos	Média (numérica)
e_1	0	-	e_3	0	-
	1	Fornecedores e Clientes		1	Crescimento Autônomo
e_1	0	-	e_4	0	-
	1	Concorrência		1	Programas Apoio

A matriz de correlação entre as variáveis (Figura 1) revelou que as correlações não são altas a ponto de inviabilizar a elaboração do cluster, caso contrário haveria a possibilidade de sobreposição de grupos e, portanto, dificuldades na análise.

Figura 2. Número ótimo de clusters



Clusters	1	2	3	4	5
Número de empresas	343	207	152	434	329

Primeiramente, para a montagem dos clusters, dado que as variáveis não se encontravam na mesma escala, foi necessário padronizar os dados para a clusterização ficar mais coerente (média zero e desvio padrão 1), garantindo assim que todas irão contribuir igualmente para a formação dos clusters. Dessa forma, valores originalmente positivos podem se tornar negativos e vice-versa, dado que a função utilizada para padronização dos dados calcula a média de todas as variáveis e em seguida subtrai essa média para cada observação e por fim divide pelo desvio padrão de cada variável. Embora os valores podem vir a ser negativos após a padronização, sua interpretação permanece relacionada à escala original dos dados. A Tabela 12 a seguir revela a média de cada variável utilizada para compor os agrupamentos em relação ao centroide de cada cluster.

Tabela 12. Média dos clusters para cada variável

Variável	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
<i>Tamanho</i>	-0,23	-0,6	0,67	0,31	-0,11
<i>Setor</i>	-0,2	-0,12	0,12	0,06	0,15
D_k	-0,52	-1,1	2,03	0,58	-0,47
P_k	-0,21	-0,77	0,59	0,34	-0,02
EFL_k	0,39	-2,09	0,54	0,5	-0,004
EST_k	0,35	-1,52	0,65	0,59	-0,48
e_1	0,64	-1,13	0,61	0,42	-0,8
e_2	0,59	-0,97	0,61	0,38	-0,79
e_3	0,01	-1,91	0,43	0,44	0,41
e_4	0,09	-0,61	0,92	0,24	-0,46
U_{1k}	-0,51	-0,65	1,49	0,55	-0,48
U_{2k}	-0,35	-1,13	0,99	0,63	-0,21
U_{3k}	-0,42	-0,5	2,04	0,16	-0,4
U_{4k}	-0,35	-0,75	1,26	0,5	-0,4
U_{5k}	-0,33	-0,43	1,08	0,27	-0,25
U_{6k}	-0,43	-0,59	1,88	0,2	-0,32
$IDTD_k$	-0,47	-1,35	1,15	0,76	-0,2
BPP_k	-0,05	-0,11	-0,02	0,02	0,1

Fonte: Elaboração própria a partir da PINTEC-Dig (IBGE, 2023).

Os cluster 3 e 4 revelam médias maiores para todos os indicadores, sinalizando que nestes grupos há a reunião de empresas que são mais digitalizadas e com maior percepção sobre os fenômenos associados registrados pela pesquisa. Resultado oposto pode ser identificado para os casos dos clusters 1 e 2, uma vez que as médias observadas são negativas para quase todos os indicadores considerados.

6.3 Análises dos resultados do cluster: o padrão de digitalização

Com o objetivo de sintetizar os valores das variáveis e construir parâmetros representativos em cada agrupamento, foi aplicada a seguinte metodologia. Quando se trata de variáveis contínuas, calculou-se a média dos valores da variável original em cada um dos clusters como valor representativo. Quando as variáveis são categóricas, calculou-se índices de importância relativa dividindo os pesos do valor das variáveis em cada uma das suas categorias considerando cada cluster (w_{ic}) entre os mesmos pesos registrados no total de empresas (w_{iT}). Fazendo a razão de ambos os pesos ($^{w_{ic}}/w_{iT}$) se obtém a importância relativa de cada categoria da variável no cluster (R) que, por sua vez, adquire valor maior que 1 quando, em cada categoria, a variável toma valor no cluster superior ao que toma no total de empresas. Por exemplo, a variável ‘tamanho’ pode tomar três valores categóricos: alto, médio e baixo. No cluster 1, as empresas se distribuem da seguinte forma: 128 são pequenas, 65 são médias e 150 são grandes. Uma interpretação simples indicaria que esse cluster se caracteriza por ter empresas grandes. No entanto, é difícil saber se isto é realmente verdadeiro sem levar em consideração como se distribui o total de empresas da amostra por intervalos de tamanho. As 128 empresas pequenas representam 37,3% das empresas do cluster, as médias 19,0% e as grandes 43,7%; enquanto que, no total da amostra, as empresas pequenas representam 30,1%, as médias 13,1% e as grandes 56,8%. Dividindo ambas as estruturas de pesos, observa-se que o valor da R nas empresas pequenas é 1,24, nas médias é 1,45 e nas grandes é 0,77. Assim, deduz-se que o cluster 1 comparativamente ao total da amostra se caracteriza por ser mais especializado em empresas pequenas e médias.

Desta forma, as variáveis estão organizadas dentro de cada cluster em conceitos ou valores numéricos (médias) como descrito no Quadro 5 anterior. Quando a variável é categórica, como sucede com o tamanho, ela será qualificada quando o indicador de importância relativa R é maior que 1 em cada categoria específica. No caso da variável setor, foi observado que é relativamente comum que uma indústria se ‘especialize’ em mais de um cluster dada a permeabilidade das tecnologias digitais (normalmente em dois). Nestes casos, consideramos que o cluster que melhor representa o setor é aquele onde o valor de R é maior. Em ocorrências específicas, se o R de um setor toma elevados valores maiores que 1 em dois clusters e se ambos os valores são muito próximos, se considera que esse setor é característico dos dois clusters.

A partir da síntese dos resultados característicos de cada cluster, elaborou-se uma proposta de padrão de digitalização da indústria brasileira. O padrão se apresenta na Tabela 13 abaixo, com ordenação dos grupos de acordo com o índice de digitalização médio em ordem crescente. Entre todos os grupos, o cluster que se apresenta com o menor índice de digitalização é o cluster 2, com valores em torno de 1%, o que significa um valor muito baixo. Os valores de adoção de Big Data e Inteligência Artificial são praticamente nulos e os maiores valores se localizam em Computação em

Nuvem com um grau de utilização de apenas 3%. Essa distribuição faz com que o grupo apresente um índice de diversificação digital muito baixo, de apenas de 0,02. O grau de extensividade é na média de 54%, isto é digitalizam -na média- no máximo em duas funções predominantemente e numa terceira parcialmente. Trata-se na maioria de empresas de pequeno porte pertencentes a indústrias tradicionais como fumo, têxtil, vestuário, couro e calçado, papel e celulose, reprodução de gravações, outros equipamentos de transporte, móveis e manutenção de máquinas e equipamentos. Seu desconhecimento acerca das tecnologias digitais é tão elevado que não identificam nenhum ganho na digitalização, nem ganhos de eficiência, como a redução de custos ou um melhor atendimento aos clientes, nem por Estratégia da firma, como a sua reputação, crescimento interno ou competitividade. Como se trata de firmas que praticamente não digitalizam, tampouco se identificam as fontes de digitalização. Como característica final, e considerando que praticamente todas as indústrias características deste cluster são do tipo 'Dominadas pelos fornecedores' de acordo com o padrão de Pavitt (1984), seu padrão de inovação está centrado em melhoras nos processos de produção incorporando inovações produzidas em outras indústrias. Assim, sua limitada adoção de tecnologias digitais é eminentemente de processo.

O seguinte cluster que apresenta já um índice de digitalização consideravelmente maior (12%) é o Cluster 1. Neste grupo, a adoção de tecnologias digitais está bastante concentrada em Computação na nuvem (30%) e, em menor medida, em Internet das coisas (13%). O grau de utilização do resto das tecnologias digitais é muito baixo. Esta concentração do uso leva também a um grau de diversificação digital baixo (0,29), embora não tanto como no Cluster 2. Este cluster inclui empresas de porte médio e baixo das indústrias de alimentos, madeira e borracha e plástico. As indústrias de têxtil e confecção também se especializam neste cluster, mas a diferencia do cluster 1 se trataria predominantemente de empresas de porte médio e não pequeno. O grau de extensividade é de 0,66, o que significa que a digitalização alcançaria, na média em torno de 3 funções empresariais. O maior índice de digitalização também se corresponde com um maior conhecimento das tecnologias, por tanto, as empresas deste cluster apresentam propensões medias/altas a apontar ganhos de eficiência e de estratégia em sua adoção, isto é, já consideram que as tecnologias digitais formam parte de sua estratégia de longo prazo.

Tabela 12 – Padrão de digitalização da indústria brasileira. Grupos (clusters) ordenados por grau de digitalização.

	SETORES TÍPICOS	Grau de Digitalização						Grau Extensividade	PORTE	FOCO		FONTES	Diversif. Digital	Balanço produto processo				
		Total	BGD	CPN	IAT	IoT	MFA			RBT	Prop. a revelar EFICIÊNCIA				Prop. a revelar ESTRATÉGIA			
Cluster 2	Fabricação de produtos do fumo																	
	Fabricação de produtos têxteis																	
	Confeção de artigos do vestuário e acessórios																	
	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados																	
	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,54	Pequeno	Nula/Baixa	Nula		0,02	Processo			
	Impressão e reprodução de gravações																	
	Fabricação de outros equipamentos de transporte																	
	Fabricação de móveis																	
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos																		
Cluster 1	Fabricação de produtos têxteis																	
	Confeção de artigos do vestuário e acessórios																	
	Fabricação de produtos alimentícios																	
	Fabricação de produtos de madeira	0,12	0,04	0,30	0,02	0,13	0,02	0,04	0,66	Médio Baixo	Média/Alta	Media/Alta	Fornecedores e Clientes	Concorrência	0,29	Processo		
Fabricação de artigos de borracha e plástico																		
Cluster 5	Fabricação de produtos do fumo																	
	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis																	
	Fabricação de produtos de metal	0,13	0,05	0,35	0,02	0,12	0,03	0,07	0,70	Médio	Baixa/Média	Baixa		Estratégia Autônoma	0,37	Produto		
	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos																	
Fabricação de produtos diversos																		
Cluster 4	Indústrias extractivas																	
	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos																	
	Metalurgia	0,31	0,37	0,65	0,14	0,39	0,12	0,18	0,78	Grande	Alta	Media/Alta	Fornecedores e Clientes	Concorrência	Estratégia Autônoma	Programas Apoio	0,67	Produto
	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos																	
Cluster 3	Fabricação de bebidas																	
	Fabricação de produtos químicos																	
	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos																	
	Metalurgia	0,57	0,66	0,78	0,55	0,62	0,25	0,54	0,83	Grande	Alta	Media/Alta	Fornecedores e Clientes	Concorrência	Crescimento Autônomo	Programas Apoio	0,79	Neutro
	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos																	
Fabricação de máquinas e equipamentos																		
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias																		

Nota: Big Data (BGD); Computação na Nuvem (CPN); Inteligência Artificial (IAT); Internet das coisas (IoT); Manufatura Avançada (MFA); Robótica (RBT).

Semelhante ao que ocorre no cluster 1, por serem estas indústrias dominadas pelos fornecedores que concorrem por preços, as fontes/motivações da digitalização se concentram nas relações com fornecedores e clientes e na concorrência, e a aplicação das tecnologias digitais se dirige à melhora dos processos produtivos.

O terceiro cluster pela ordem que estabelece o índice de digitalização é o cluster 5, com um valor de 13%, apenas um ponto acima do Cluster 1. Da mesma forma que no cluster 1, o uso de tecnologias digitais se concentra em computação na nuvem (35%) e, em menor grau, internet das coisas (12%). O uso de robótica é relativamente maior ao do cluster 1 (7%) e levemente superior em big data e manufatura aditiva, embora ainda muito reduzidos (5% e 7% respectivamente). Este maior uso do resto das tecnologias digitais se traduz num índice de diversificação digital também maior (0,37). Apesar de ter um índice de digitalização parecido ao do cluster 1, este grupo apresenta especificidades que o diferenciam do anterior. O cluster 5 incorpora de forma característica as indústrias do fumo, coque e petróleo, produtos de metal, máquinas aparelhos e materiais elétricos e fabricação de produtos diversos, isto é, são empresas que se encontram nas categorias de intensivos em economias de escala, sendo alguns fornecedores especializados como o setor de máquinas e aparelhos elétricos. A indústria de fumo, representativa do cluster 2, é também representativa deste grupo porque os índices de importância relativa são muito similares, sendo este um dos poucos casos em que uma indústria aparece como representativa em dois clusters. No entanto, a diferença do Cluster 2, as empresas características da indústria do fumo no Cluster 5 são empresas de porte médio e não pequeno. Ao se tratarem de empresas de porte maior e de setores intensivos em economias de escala, estas apontam uma maior propensão a identificar ganhos de eficiência (reduções de custos) do que estratégia (reputação, inovação ou novos mercados). Também, como esperado, as fontes da digitalização (facilitadores) são eminentemente internos, isto é, parte da estratégia autónoma da empresa. Uma última característica também própria de seu padrão de inovação é que, no balanço produtos processos, estas firmas se caracterizam mais pelo uso de tecnologias digitais para o desenvolvimento de novos produtos que para a melhora dos processos.

O seguinte cluster na ordem é o cluster 4, o qual já apresenta um salto tecnológico diferenciado dos três clusters anteriores. Com um índice de digitalização de 31%, alcança elevados graus de uso de computação na nuvem (65%) e, em menor medida, de Internet das coisas (39%) e big data (37%). A utilização das outras tecnologias é relativamente mais elevada, embora com valores de uso ainda baixos (entre um 12% e um 18%). Como consequência deste uso mais amplo de tecnologias digitais, o índice de diversificação digital é também relativamente maior (0,67). O grau de extensividade é também elevado (0,78), o que significa que ao menos quatro das funções empresariais digitaliza total ou parcialmente. Trata-se de empresas de porte grande localizadas nas indústrias Extrativas, a Fabricação de produtos minerais não-metálicos, a Metalurgia e a Fabricação de produtos de informática, eletrônicos e ópticos. Este cluster mistura setores intensivos em economias de escala e baseados na ciência, o que explica um balanço produtos processos direcionado a produtos, ou seja, a digitalização está relativamente mais orientada ao desenvolvimento de produtos. Acompanhando a seu maior grau de digitalização, a identificação dos ganhos é também elevada, principalmente associada aos ganhos de eficiência, embora também, em menor medida, se identifiquem ganhos estratégicos. Da mesma forma, as fontes ou estímulos para a diversificação é muito ampla, registrando propensões elevadas em todas as possíveis fontes, desde as relações com fornecedores e clientes e a estratégia autónoma (característico das indústrias intensivas em economias de escala) quanto a concorrência e os programas de apoio (mais específico das indústrias baseadas em ciência).

Finalmente, o grupo que inclui empresas com o maior índice de digitalização, com 0,57%, é o cluster 3. Neste cluster, o elevado grau de uso de Computação na Nuvem (78%) está fortemente associado ao uso de Big Data (66%) e a Internet das coisas (62%). O uso de Robótica e Inteligência artificial alcança patamares significativos (54% e 55% respectivamente), e o uso da Manufatura Avançada, embora ainda baixo, é o mais elevado dos registrados em todos os clusters (25%). Esta amplitude de uso de tecnologias digitais se reflete num elevado índice de diversificação digital (0,79) e um índice de extensividade de 0,83; isto é, na média, as 5 funções empresariais se encontram digitalizadas e ao menos 4, predominantemente.

Como no cluster 4, este grupo está formado por empresas grandes de setores intensivos em economias de escala e baseados na ciência como produtos Químicos, Farmacêuticos, Máquinas e equipamentos e Veículos automotores. A estes se adicionam três. O primeiro é o de Bebidas, que em princípio não corresponde no padrão de Pavitt nem a uma categoria nem a outra. Tratar-se-ia, em princípio, de um setor tradicional dominado pelos provedores. Mas como o mesmo Pavitt indicou, algumas indústrias, pela evolução dos seus processos produtivos, poderiam mudar de padrão e sair do grupo de dominados pelos provedores para se transformar em intensivos em economias de escala. Este parece ter sido o caso do setor de Bebidas. Os outros dos setores que se incorporam a este grupo são a Metalurgia e os Equipamentos de informática, eletrônica e óptica, os quais também formavam parte do cluster 4. Nestes casos, as diferenças entre empresas não estão no tamanho, pois tanto o cluster 3 como no 4 se caracterizam por conter empresas de porte grande. Nestas indústrias, o que faz que algumas firmas destes setores caiam neste grupo se pode dever ou bem ao índice de digitalização, isto é, este grupo estaria incorporando às empresas mais digitalizadas dessas indústrias, ou bem ao caráter neutro do balanço produtos/processos. Esta variável é distintiva deste cluster e significa que a estratégia de digitalização é tão forte e ampla que afeta igualmente ao desenvolvimento de novos produtos quanto à melhora dos processos.

Finalmente, no que diz respeito do foco da trajetória tecnológica, isto é, a identificação dos ganhos da digitalização, as empresas do Cluster 3 destacam a sua importância tanto em termos de eficiência como de estratégia, embora com uma ênfase relativamente maior na eficiência. Como no cluster 4, as empresas indicam como importantes todas fontes ou estímulos a digitalizar, e são apenas estes clusters os que indicam como estímulo os programas de apoio público-privados o que levanta uma dúvida sobre a causalidade. Por um lado, poderia se interpretar que os programas de apoio têm sido sucedidos porque levaram às empresas à digitalização. Mas a causalidade poderia ser a inversa, isto é, os programas de apoio foram já desenhados para as empresas tecnologicamente mais preparadas para a adoção de tecnologias digitais. Neste último caso, os programas de apoio estariam fomentando a heterogeneidade digital.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tomou como ponto de partida a metodologia do padrão de inovação de Pavitt (1984) como arcabouço teórico, o que, por sua vez, permite elaborar taxonomias não hierárquicas que consideram as particularidades setoriais associadas aos processos de inovação em termos de particularidades na produção e características dos mercados. Os critérios de elaboração do padrão de Pavitt também permitiu selecionar variáveis da PINTEC-Dig e dar para elas uma interpretação teórica na busca pelo desenho de um padrão de digitalização para a indústria brasileira. Assim, por exemplo, o que a PINTEC-Dig considera como benefícios, foi interpretado como foco de atividade inovadora (adoção digital); as motivações para digitalizar foram interpretadas como fontes de inovação; ou o balanço entre digitalização para novos produtos e processos foi interpretado como o balanço produtos/processos.

No entanto, existem algumas diferenças na adoção deste arcabouço teórico com relação ao trabalho desenvolvido que obrigam a uma interpretação diferenciada dos resultados. Em primeiro lugar, a taxonomia de Pavitt é setorial, enquanto a taxonomia aqui aplicada foca em empresas. Neste sentido, os resultados encontrados mostram que os setores atravessam as categorias e, de fato, um mesmo setor pode ter empresas características de dois clusters diferentes. Em segundo lugar, o processo de digitalização é basicamente um processo de adoção (uso) mais do que de produção de tecnologias. Neste sentido, não há diferença entre empresas e indústrias produtoras e usuárias, pois todas são entendidas aqui como usuárias. Em terceiro lugar, como o processo de adoção de tecnologias digitais é objeto de estudo, há empresas que adotaram mais e outras que adotaram menos, o que leva inevitavelmente a uma taxonomia resultante intrinsecamente hierárquica. Finalmente, o padrão de inovação se refere a uma ampla diversidade de soluções tecnológicas, enquanto o padrão de digitalização se refere a tecnologias digitais específicas. As tecnologias digitais são fortemente permeáveis entre setores dado o amplo espectro de soluções que representam. No entanto, elas se adaptam de diferentes formas e intensidades, não só entre indústrias, mas também entre firmas, dados os elevados custos de adoção que representam.

Como síntese destas particularidades, o padrão de digitalização elaborado para a indústria brasileira compartilha também de algumas similaridades com o padrão de inovação de Pavitt, ainda que o presente trabalho claramente não é e nem busca testar empiricamente um padrão de inovação geral. O padrão de digitalização estabeleceu 5 grupos de empresas ordenados hierarquicamente onde as principais variáveis que determinam a pertinência aos grupos são o índice de digitalização e, em menor medida, o tamanho e o balanço produtos/processos. A maior parte das variáveis caracterizadoras do cluster acabam estando fortemente correlacionadas ao índice de digitalização. Assim, quanto mais as firmas digitalizam, mais extensivo é seu uso entre as funções da firma (desde a produção até a comercialização) e maior é seu grau de diversificação digital. Esta maior amplitude de uso permite concluir que existe um elevado grau de complementariedade tecnológica entre diferentes tecnologias digitais, especialmente entre Computação na Nuvem, Big Data e Internet das Coisas.

Adicionalmente, quanto maior o índice de digitalização, maior também é a percepção dos ganhos e as fontes de digitalização. Esta observação corrobora o que já foi observado em trabalhos prévios usando a pesquisa I-2027 e I-2030 (Urraca-Ruiz et al, 2023; Urraca-Ruiz et al, 2024). Um maior conhecimento acerca dos ganhos potenciais e reais das tecnologias digitais só se adquire através de esforços em preparação para a adoção e na adoção em si. Assim, as empresas do cluster 2, grupo que apresenta graus de digitalização praticamente nulos, não identificam ganho algum na

digitalização. A causalidade pode então ser dupla: as firmas não digitalizam porque não identificam ganhos, ou o desconhecimento acerca de seus ganhos se deve ao fato de não digitalizarem.

Já no cluster 3, no qual as firmas registram os graus de digitalização mais elevados, as propensões das firmas a indicar ganhos está acima da média da indústria em todos os setores e em cada um dos ganhos contemplados, tanto se são de eficiência quanto se tem um caráter mais estratégico (como a entrada em novos mercados, a reputação ou a melhora da capacidade de inovação e competitiva). Um efeito similar acontece nas fontes de digitalização, mas com alguma gradação. Para o cluster 2, que praticamente não digitaliza, claramente não há registro de fontes de digitalização, enquanto nos clusters 4 e 3 todas as possíveis fontes são importantes motivações para digitalizar. Nos clusters intermediários 1 e 5, que tem níveis de digitalização muito semelhantes, as fontes de digitalização adquirem particularidades que podem se associar com seu padrão de inovação-produção. No primeiro (cluster 1), os clientes e fornecedores e a concorrência; enquanto no segundo (cluster 2), a estratégia autônoma da firma. O padrão de inovação de Pavitt ajuda a entender essas diferenças. As indústrias características do cluster 1 são indústrias tradicionais, com um padrão de concorrência por preços consideradas como 'Dominadas pelos provedores'. Dado que a principal fonte de inovação destas indústrias é externa (por seus provedores) e dado que há uma forte concorrência por preços, é compreensível que empresas destes setores tendam a identificar como principais fontes os fornecedores e clientes e a própria concorrência. Já o cluster 5 contempla empresas de setores -nas categorias de Pavitt- 'Intensivos em economias de escala', onde as principais fontes são internas (departamentos próprios de P&D e Engenharia). Neste sentido, tampouco surpreende que a propensão a identificar fontes de digitalização seja a estratégia interna da firma.

Outras duas variáveis com papel importante na segregação dos grupos do padrão de digitalização brasileiro são o tamanho e o balanço produtos/processos. O tamanho, embora esteja muito associado ao grau de digitalização, mais do que ser efeito (como no caso das variáveis anteriores) parece ser causa. Como também foi observado em trabalhos anteriores (Urraca-Ruiz et al., 2023; Torracca et al., 2023), o tamanho é uma variável determinante do grau de digitalização da indústria brasileira. O efeito do tamanho toma um destaque ainda maior que o efeito setor. Isto auxilia compreender o fato de empresas do mesmo setor que se localizam em clusters diferentes quando tem tamanhos distintos, pois isso também levará a graus de digitalização diferentes. Estes são os casos das indústrias do fumo, têxtil e vestuário e confecção, todas elas com graus de digitalização relativamente baixos ou muito baixos.

O balanço produtos/processos é uma variável que independe do grau de digitalização e, portanto, toma importância na segregação de empresas entres clusters. Esta variável está mais ligada ao padrão de inovação das indústrias. Assim, cabe esperar que indústrias onde o padrão de inovação está fortemente direcionado a processos (como as dominadas pelos provedores) se caracterizem por processos de digitalização direcionados também a processos; que se o padrão de inovação está focado no desenvolvimento de produtos, também este seja o foco da digitalização (fornecedores especializados); e se o padrão de inovação indica um balanço misto entre produtos e processos, também é provável que as aplicações digitais em desenvolvimento de produtos e em melhoras de processos esteja relativamente equilibrada. Este padrão de comportamento esperado é o realmente o observado. Nos clusters 2 e 1, onde predominam as indústrias do grupo 'Dominados pelos fornecedores', os processos predominam no balanço produtos/processos das aplicações digitais; nas indústrias 4 e 5, onde surgem alguns 'Fornecedores especializados' dentro dos intensivos em economias de escala, predominam as aplicações digitais ao desenvolvimento de

produto; e no cluster 3, onde predominam as indústrias baseadas na ciência, o balanço é misto ou neutro.

Uma última conclusão é uma reflexão acerca das implicações dos resultados em termos de política industrial. As diferenças do índice de digitalização são muito proeminentes, fruto de uma estrutura produtiva que, de fato, é muito heterogênea. Esta observação confirma, como já se apontou em outros trabalhos (Torracca et al, 2023) que o processo de digitalização no Brasil é muito heterogêneo o que virá a reforçar a heterogeneidade estrutural que tão fortemente caracteriza a estrutura produtiva do país. Neste sentido, cabe destacar que os programas de apoio públicos ou privados apenas são destacados como fonte de inovação nos grupos de empresas que mais digitalizam, o que levanta uma questão sobre como estes recursos estão sendo direcionados. Se os programas de apoio só chegam nas firmas tecnologicamente mais avançadas, eles não só tenderão a reproduzir, mas também a ampliar, a heterogeneidade estrutural prevalecente. Neste sentido, é preciso que o desenho das políticas industriais e de CT&I se direcionem às empresas pequenas e com menor índice de adoção digital para não só avançar no caminho da digitalização, mas também para que este seja um processo mais amplificado, contribuindo na construção de uma estrutura produtiva menos desigual.

BIBLIOGRAFIA

- Abernathy, W.J. y Utterback, J.M. (1978). "Patterns of industrial innovation". *Technology Review*. Junio/Julio, 41-47.
- Abernathy, W.J. e Clark, K.B., (1985). "Innovation: mapping the winds of creative destruction". *Research Policy*, 14, 3-22.
- Archibugi, D., Cesaratto, S. y Sirilli, G., (1991). "Sources of innovative activities and industrial organization in Italy". *Research Policy*, 20, 299-313.
- Arifin, z.; Firmanzah, f., a.; Wijanto, S. H, (2016). The determinant factors of technology adoption for improving firm's performance: an empirical research of Indonesia's electricity company. *Gadjah Mada International Journal of Business*, v. 18, n. 3, p. 237-261.
- Archibugi, D., Evangelista, R, y Simonetti, R., (1993). "Concentration, firm size and innovation: evidence from innovation costs". *Rivista Internazionale di Scienze*, 3, Julio-Septiembre, 293-305.
- Arvanitis S. (1995). Information technology, workplace organization and the demand for labour of different skills: firm-level evidence for the Swiss economy. In: KRIESI, H.; FARAGO, P.; KOHLI, M.; ZARIN-NEJADAN, M. (Eds.). *Contemporary Switzerland: revisiting the special case*. New York and Houndmills: Palgrave Macmillan, p. 135-162.
- Bayo-Moriones, A.; Lera-Lópes, F. (2007). A firm-level analysis of determinants of ICT adoption in Spain. *Technovation*, v. 27, p. 352-366.
- Bresnahan, T. F.; Brynjolfsson, E.; Hitt, L. M. (2002). Information technology, workplace organisation, and the demand for skilled labor: firm-level evidence. *Quarterly Journal of Economics*, v. 112. n. 1, p. 339-376.
- Buesa, M. e Molero, J., (1992). *Patrones de cambio tecnológico y política industrial. Un estudio de las empresas innovadoras madrileñas*. Cívitas. Madrid.
- Buesa, M. e Molero, J., (1993a). "Patrones de innovación y estrategias tecnológicas en las empresas españolas". En: García Delgado, J.L., (ed.), págs. 785-805.
- Buesa, M. e Molero, J., (1993b). "Tipología de las estrategias innovadoras. Los regímenes tecnológicos de las empresas españolas". *Economía Industrial*, 289, 49-62.
- Calvino, F.; Criscuolo, C.; Marcolin, L.; Squicciarini, M. (2018). *A taxonomy of digital intensive sectors*. [OECD Science, Technology and Industry Working Papers 2018/14.] Paris: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/f404736a-en>.
- Cohen, W. M.; Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, v. 35, p.128-52.
- Dasgupta, S.; Agarwal, D.; Ioannidis, A.; Gopalakrishnan, S. (1999). Determinants of information technology adoption: an extension of existing models to firms in a developing country. *Journal of Global Information Management*, v. 7. n. 3, p. 30-40.

- Delera, M. C.; Delera, M.; Pietrobelli, C.; Calza, E.; Lavopa, A. (2020). Does value chain participation facilitate the adoption of Industry 4.0 Technologies in developing countries? The Italian Centre for International Development.
- Doms, M.; Dunne, T.; Troske, K. (1997). Workers, wages and technology. *Quarterly Journal of Economics*, v. 112, n. 1, p. 253-290.
- Dosi, G. (1988). "Sources, procedures and microeconomics effects of innovation". *Journal of Economic Literature*, 26, Septiembre, 1120-1171.
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, v. 13, n. 3, p. 319-340. DOI: <https://doi.org/10.230749008>
- Cesaratto, S., y Mangano, S., (1993). "Technological profiles and economic performance in the italian manufacturing sector". *Economic Innovation & New Technologies*, 2, 237.
- Fabiani, S.; Schivardi, F.; Trento, S. (2005). ICT adoption in Italian manufacturing: firm-level evidence. *Industrial and Corporate Change*, v. 14, n. 2, p. 225-249.
- Falk, M. (2001). Diffusion of information technology, internet use and the demand for heterogeneous labour. *ZEW Discussion Paper*, Mannheim, n. 48.
- Gattignon, H., Robertson, T. S. (1989). Technology diffusion: an empirical test of competitive effects, *Journal of Marketing*, v. 53, n. 1, p. 35-49.
- Geroski, P. A. (2000). Models of technology diffusion. *Research Policy*, v. 29, p. 603-625.
- Haller, S.; Siedschlag, I. (2011). Determinants of ICT adoption: evidence from firm-level data. *Applied Economics*, v. 43, n. 26, p. 3775-3788, October.
- Hollenstein, H. (2004). The determinants of the adoption of information and communication technologies (ICT). An empirical analysis based on firm-level data for the Swiss business sector. *Structural Change and Economic Dynamics*, v. 15, n. 3, p. 315-342.
- Karshenas, M.; Stoneman, P. (1995). Technological diffusion. In: STONEMAN, P. (Ed.). *Handbook of the Economics of Innovation and Technological Change*. Oxford: Blackwell, p. 263-297.
- Kowtha, N. R.; Choon, T. W. (2001). Determinants of website development: a study of electronic commerce in singapore. *Information and Management*, v. 39, n. 3, p. 227-242.
- Levin, R.C., Klevorick, A.K., Nelson, R.R. y Winter S.G., (1987), "Appropriating the returns from industrial research and development", *Brookings Papers on Economic Activity*, 3, 783-820.
- Malerba, F. e Orsenigo, L., (1990). "Technological regimes and patterns of innovation: a theoretical and empirical investigation of the italian case". En Heertje A. y Perlman M., (eds.), págs. 283-305.
- Malerba, F e Orsenigo, L., (1995). "Schumpeterian patterns of innovation". *Cambridge Journal of Economics*, 19, 47-75.
- Molero, J. (1994). "Desarrollos actuales de la teoría del cambio tecnológico: tipologías y modelos organizativos". *Información Comercial Española*, 726, febrero, 7-26.
- Molero, J. e Buesa, M., (1992). "Patrones de cambio técnico en la industria innovadora de la región madrileña". Ponencia presentada en "Primeras Jornadas de Investigación sobre las relaciones entre Ciencia, Tecnología, Economía y Sociedad (RICTES)". Madrid, 14-15 de Octubre de 1992.

- Molero, J. e Buesa, M. (1996). "Patterns of technological change among Spanish innovative firms: the case of the Madrid region". *Research Policy*, 25, 647-663.
- Mowery, D. C.; Oxley, J. (1995). Inward technology transfer and competitiveness: The role of national innovation systems. *Cambridge Journal of Economics*, v. 19, n. 1, p. 67-93.
- Napolitano, G., (1991). "Industrial research and sources of innovation: a cross-industry analysis of Italian manufacturing firms". *Research Policy*, 20, 171-178.
- Nelson, N. e Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. The Belknap Press of Harvard University Press.
- Nutley, S.; Davies, H.; Walter, I. (2002). Conceptual synthesis 1: learning from the diffusion of innovations. Working Paper, University of St Andrews, Department of Management, n. 10.
- Patel, P. e Pavitt, K., (1994). "The continuing widespread (and neglected) importance of improvements in mechanical technologies". *Research Policy*, 23, 533-545.
- Pavitt, K., (1984). "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory". *Research Policy*, 13 (6), 343-373.
- Pavitt, K., (1995a). "Lecture 4. Mayor technological trayectories". Curso: "Technology Strategy" para Msc Technology and innovation management. Science Policicy Research Unit. Universidad de Sussex.
- Pavitt, K., (1995d). "Lecture 11. Technology in corporate change". Curso: "Science, technology and structural change" para el Msc Science and Technology Policy. Science Policicy Research Unit. Universidad de Sussex.
- Pavitt, K., Robson, M., y Townsend J., (1989). "Technological accumulation, diversification and organisation in U.K. companies, 1945-1983". *Management Science*, 35 (1), 81-99.
- Pfeiffer, S.; Lee, H.; Zlrbig, C.; Suphan, A. (2016). *Industrie 4.0 – Qualification 2025 (Management Summary)*. Frankfurt: VDMA.
- Scherer, F.M. (1982a). "Inter-industry technology flows and productivity growth". *Review of Economics and Statistics*, 64 (4), 627-634.
- Scherer, F.M. (1982b). "Inter-industry technology flows in the United States". *Research Policy*, 11, 227-245.
- Scherer, F.M. (1984). "Using linked patent and R&D data to measure interindustry technology flows". En Griliches, Z., (ed.), *R&D, Patents & Productivity*. National Bureau of Economic Research. University of Chicago Press. Chicago.págs. 417-464.
- Schmookler, J., (1966). *Invention and economic growth*. Harvard University Press. Cambridge Mass.
- Teo, T. S. H.; Tan, M. (1998). An empirical study of adopters and non-adopters of the internet in Singapore. *Information and Management*, v. 34, n. 6, p. 339-345.
- THONG, J. Y. L. An integrated model of information systems adoptionin small business. *Journal of Management Information Systems*,Armonk, v. 4, n. 15, p. 187-214, 1999.
- Tornatzky, L. G.; Fleischer, M. (1990). *The processes of technological innovation*. Lexington, MA: Lexington Books.

Torracca, J., Ferraz, J.C., Britto, J., Urraca-Ruiz, A. (2023). 'Digital heterogeneities in developing countries: a comparative analysis'. *Revista Brasileira de Inovação*, 22. DOI: <https://doi.org/10.20396/rbi.v22i00.8668616>.

Urraca-Ruiz, A., Torraccia, J., Britto, J., Ferraz, J. (2023). 'Factors determining the path of digital technologies adoption of Brazilian industrial firms'. *Revista Brasileira de Inovação*, 22. 10.20396/rbi.v22i00.8668448

Urraca-Ruiz, A., Torraccia, J., Machado, T., Britto, J. (2024). Expectations and digital technologies adoption in Brazilian manufacturing firms. *Journal of High Technology Management Research*. (Forthcoming).

Zahra, S. A.; George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualization, and extension. *Academy of Management Review*, v. 27, n. 2, p. 185-203.

