



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo
BENS DE CAPITAL



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

PROJETO INDÚSTRIA 2027

Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas

ESTUDO DE SISTEMA PRODUTIVO

BENS DE CAPITAL

FOCOS SETORIAIS

Máquinas e implementos agrícolas

Máquinas-ferramenta

Equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia

Bens elétricos seriados de uso industrial

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Brasília
2018

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI

Robson Braga de Andrade

Presidente

Diretoria de Educação e Tecnologia – DIRET

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti

Diretor de Educação e Tecnologia

Instituto Euvaldo Lodi – IEL

Robson Braga de Andrade

Presidente do Conselho Superior

IEL – Núcleo Central

Paulo Afonso Ferreira

Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio

Superintendente



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria

**Indústria
2027**

mei MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL PELA INOVAÇÃO

Estudo de sistema produtivo
BENS DE CAPITAL

©2018. IEL – Instituto Euvaldo Lodi

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

IEL/NC

Superintendência IEL

FICHA CATALOGRÁFICA

I59e

Instituto Euvaldo Lodi. Núcleo Central.

Estudo de sistema produtivo bens de capital/ Instituto Euvaldo Lodi, Rodrigo Sabbatini, Adriana Marques da Cunha, Beatriz Bertasso, José Augusto Ruas. -- Brasília: IEL/NC, 2018.

94 p. il. (Indústria 202: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas)

1. Cluster Tecnológico 2. Sistemas Produtivos 3. Bens de Capital 4. Máquinas Agrícolas 5. Bens Elétricos 6. Gestão Elétrica I. Título

CDU: 338.45

IEL

Instituto Euvaldo Lodi
Núcleo Central

Sede

Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF

Tel.: (61) 3317-9000

Fax: (61) 3317-9994

<http://www.portaldaindustria.com.br/iel/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC

Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992

sac@cni.org.br

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
INDÚSTRIA 2027	9
RESUMO EXECUTIVO	13
INTRODUÇÃO	19
1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA	23
1.1 Máquinas e implementos agrícolas.....	28
1.2 Máquinas-ferramenta	36
1.3 Equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia.....	43
1.4 Bens elétricos seriados de uso industrial	49
2 OS CLUSTERS TECNOLÓGICOS RELEVANTES	55
2.1 Identificação das tecnologias relevantes	55
2.2 Experiência internacional	57
2.3 Experiência brasileira	62
2.4 Conclusão	65
3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL	69
3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais no sistema produtivo de bens de capital	69
3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas	70
3.3 Desafios para a indústria brasileira	72
3.4 Implicações.....	73
REFERÊNCIAS	75
ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP BENS DE CAPITAL	79
A1 Caracterização da amostra de respondentes	79
A2 Resultados.....	82
A3 Considerações finais	94



APRESENTAÇÃO

A convergência tecnológica presente em nossas vidas passa pela indústria, cada vez mais movida pela inovação. Esse espírito inovador, por sua vez, alimenta a competitividade e impulsiona novos modelos de negócios. O *Projeto Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas* avalia não só os impactos de inovações potencialmente disruptivas sobre a indústria nos próximos dez anos, como também a capacidade de o Brasil e suas empresas superarem riscos e aproveitarem oportunidades derivadas de novas técnicas. Além disso, fornece subsídios para as estratégias corporativas e a formulação de políticas de inovação.

O projeto é uma iniciativa da Confederação Nacional da Indústria (CNI) e da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), coordenada pelo Instituto Euvaldo Lodi (IEL), com execução técnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

O Indústria 2027 identificou oito *Clusters Tecnológicos* – como Internet das Coisas, Inteligência Artificial, Nanotecnologia e Materiais Avançados –, inovações cujos efeitos na economia e na sociedade são um caminho sem volta. Lançou, ainda, uma pesquisa inédita que mostrou o nível de adoção das tecnologias 4.0 nas empresas brasileiras. Agora é o momento de ressaltar o impacto das tecnologias delineadas pelo projeto nos dez sistemas produtivos analisados e o comportamento dos setores frente à adoção de técnicas avançadas.

A Nota Técnica sobre Bens de Capital – com foco em máquinas e implementos agrícolas, máquinas e ferramentas, motores e outros bens seriados, além de equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia (GTD) – destaca a sofisticação do sistema produtivo no Brasil. Ao fim do trabalho, uma pesquisa traz resultados, por exemplo, da probabilidade de adoção de tecnologias por empresas da área.

A competitividade da indústria é feita com inovação; cooperação entre o setor produtivo, o governo e os centros de conhecimento; e estratégia de longo prazo para o desenvolvimento do país.

A indústria brasileira pode desenvolver competências, aproveitar oportunidades de competir em melhores condições, gerar empregos, criar novos serviços e contribuir para a ascensão da qualidade de vida da população brasileira.

Boa leitura.

Robson Braga de Andrade
Presidente da Confederação Nacional da Indústria (CNI)




INDÚSTRIA 2027

O projeto **Indústria 2027: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas** tem como objetivos avaliar os impactos de um conjunto de novas tecnologias com alto potencial transformador sobre a competitividade da indústria nacional no horizonte de cinco a dez anos e fornecer subsídios para o planejamento corporativo de empresas e para a formulação de políticas públicas, visando estratégias de emparelhamento da indústria *vis-à-vis* as melhores práticas competitivas internacionais.

O projeto **Indústria 2027** tem como objetos de análise *Clusters* Tecnológicos Sistemas Produtivos e, nesses últimos, Focos Setoriais (Quadro A1). Os *Clusters* Tecnológicos compreendem um conjunto de tecnologias-chave agrupadas por proximidade tecnológica e de bases de conhecimento envolvidas.

Os Sistemas Produtivos correspondem a grupos de setores industriais selecionados pela sua participação na estrutura industrial brasileira. Os principais critérios para identificação dos Focos Setoriais foram o potencial de impactos disruptivos a serem aportados pelas novas tecnologias e a relevância do setor em termos de geração de produto, empregos, exportações e inovação.

Quadro A1 – Clusters Tecnológicos, Sistemas Produtivos e Focos Setoriais



O diagrama mostra um hexágono centralizado com o texto 'PRODUTOS, PROCESSOS, GESTÃO E MODELOS DE NEGÓCIO'. Ao redor dele, há sete caixas de texto: 'TICS: COMPUTAÇÃO EM NUVEM, BIG DATA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL' (topo), 'TICS: REDES' (direita), 'TICS: LOT, SISTEMAS E EQUIPAMENTOS' (esquerda superior), 'BIOPROCESSOS BIOTECNOLOGIAS AVANÇADAS' (esquerda), 'NANOTECNOLOGIA' (esquerda inferior), 'MATERIAIS AVANÇADOS' (inferior) e 'PRODUÇÃO INTELIGENTE E CONECTADA' (direita inferior) e 'ARMAZENAMENTO DE ENERGIA' (direita inferior).

Sistemas Produtivos	Focos Setoriais
Agroindústrias	Alimentos Processados
Insumos Básicos	Siderurgia
Química	Química verde
Petróleo e Gás	E&P em Águas Profundas
Bens de Capital	Máquinas e Implementos Agrícolas, Máquinas Ferramenta, Motores Elétricos e Outros Seriados, Equipamentos de GTD
Complexo Automotivo	Veículos Leves
Aeroespacial, Defesa	Aeronáutica
TICs	Sistemas e Equipamentos de Telecom Microeletrônica Software
Farmacêutica	Biofármacos
Bens de Consumo	Têxtil e Vestuário

Fonte: Elaboração própria.

O projeto **Indústria 2027** está construído ao longo de três etapas sequenciais: (i) na primeira etapa, especialistas nos distintos *Clusters* produziram análises sobre tendências e impactos potenciais de tecnologias emergentes sobre sistemas produtivos¹; (ii) essas reflexões serviram como insumo para a segunda etapa, quando especialistas setoriais avaliaram o processo de geração, absorção e difusão destas tecnologias em Sistemas e Focos Setoriais e seus impactos sobre a competitividade empresarial; (iii) as análises de *Clusters* e Sistemas Produtivos servirão para a reflexão sobre estratégias públicas e privadas.

As trajetórias dos *Clusters* Tecnológicos

A avaliação dos oito *Clusters* Tecnológicos identificou as tecnologias-chave que, introduzidas comercialmente em até dez anos, podem iniciar mudanças em Sistemas Produtivos, alterando modelos de negócios, padrões de concorrência e a atual configuração de posições de liderança das empresas. Neste horizonte temporal essas tecnologias podem constituir ameaças e oportunidades para empresas estabelecidas ou novas empresas e mesmo implicar o surgimento de novos segmentos de mercado.

A avaliação dos *Clusters* indicou as seguintes trajetórias: (i) integração: qualquer solução tecnológica usa, intensivamente, outras tecnologias e bases de conhecimento distintas, em especial aquelas associadas às tecnologias de informação e comunicação (TIC); conectividade: o potencial das tecnologias aumenta pela geração, absorção e difusão por meio de redes digitais e; inteligência: crescente incorporação de conhecimentos científicos (“inteligência”) nas aplicações comerciais destas tecnologias; (ii) os impactos sobre empresas se diferenciam ao longo do tempo: algumas aplicações tecnológicas já produzem impactos disruptivos hoje e continuarão assim em dez anos; outras somente os produzirão no futuro próximo enquanto outras impactam empresas e setores com intensidade moderada (otimizando processos, induzindo a geração de novos produtos, por exemplo) no presente, mas poderão causar impactos disruptivos no futuro.

Questões orientadoras das análises de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais

Os estudos de Sistemas Produtivos e Focos Setoriais foram ancorados no conhecimento de especialistas, em estudos recentes feitos por centros de investigação e empresas de consultoria, em entrevistas qualitativas e, em alguns casos, quantitativas, junto a empresas e em uma pesquisa de campo em conjunto com uma amostra representativa de Sistemas Produtivos (em torno de 750 empresas), onde se buscaram informações sobre uso atual e esperado de tecnologias digitais e impactos sobre atributos competitivos, em diferentes funções organizacionais das empresas.

1. Fonte: Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2017/10/nota-tecnica-etapa-i-do-projeto-industria-2027/>.

A avaliação dos Sistemas Produtivos e Focos Setoriais está estruturada em três partes: (i) análise da estrutura econômica, competitiva, tecnológica e produtiva do sistema e foco setorial no mundo e no Brasil; (ii) identificação das tecnologias relevantes para a competitividade do sistema e foco, no processo de geração, absorção e difusão dessas tecnologias e seus impactos sobre os modelos de negócio, padrões de concorrência e estruturas de mercado; (iii) riscos, oportunidades e desafios para a indústria brasileira.

Em particular procurou-se responder: (i) Quais são as tecnologias relevantes para cada sistema produtivo? Como elas impactarão cada sistema produtivo? Quais os maiores riscos e oportunidades para o Brasil?; e (ii) Qual a capacidade de resposta atual e potencial do sistema empresarial? Quais são os requisitos técnicos, empresariais, institucionais e financeiros para aproveitar oportunidades e defletir riscos que as inovações disruptivas podem representar?



RESUMO EXECUTIVO

Caracterização do sistema de bens de capital e seus Focos Setoriais no mundo e no Brasil

O sistema produtivo de bens de capital, que representa uma parcela de aproximadamente 12% do valor total da produção industrial mundial, constitui um importante polo gerador e difusor de inovações para a economia global. Geograficamente, acompanhou o deslocamento da atividade industrial para a região Ásia-Pacífico, com destaque para a China, com 42,7% da produção mundial em 2016.

O Brasil conta com um sistema produtivo de bens de capital sofisticado, liderado por filiais de empresas transnacionais em praticamente todos os segmentos. Conta também com um grupo de empresas nacionais altamente capacitadas que internacionalizaram sua produção. Essa combinação de filiais estrangeiras, junto à capacitação da elite das empresas nacionais, garante uma oferta diversificada e atualizada de equipamentos. Os últimos dados da Pesquisa Industrial Anual do IBGE mostram que atuam na produção de bens de capital aproximadamente 2,8 mil empresas, que empregavam em 2015 em torno de 420 mil pessoas. A pujança de atividades econômicas como a agricultura, a mineração, a extração de petróleo, a geração de energia e a indústria de transformação alimenta a produção de bens de capital e atraem investimentos.

Na atual conjuntura de elevada capacidade ociosa nas empresas, a antecipação dos impactos potenciais e, principalmente, das oportunidades que tecnologias disruptivas possam trazer nos próximos anos para os fabricantes de bens de capital no Brasil se reveste de especial importância.

Identificação das tecnologias disruptivas no sistema de bens de capital

O *Cluster* de tecnologias que articulam a produção inteligente e conectada (Produção Inteligente) apresenta atualmente impactos disruptivos no sistema produtivo de bens de capital. As estruturas de mercado e os modelos de negócio no sistema produtivo já mostram o impacto transformador das novas tecnologias.

Para os fabricantes de bens de capital, trata-se de uma inovação de produto intensiva em infraestruturas de comunicação, aliada à inteligência artificial. No entanto, as competências necessárias ultrapassam o escopo das tecnologias tradicionalmente dominadas pelos fabricantes de equipamentos mecânicos e elétricos.

A demanda por novas competências tem levado os produtores do setor a articular redes de cooperação para o desenvolvimento, estabelecer novas alianças com empresas de outros setores – notadamente do sistema das tecnologias de informação

e comunicação (TIC) – e tentar capturar novos ativos tecnológicos por meio de fusões e aquisições ou de investimentos internacionais.

A evolução convergente da Inteligência Artificial (IA), da Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) e das Tecnologias de Redes de Comunicação (Redes) deve potencializar o impacto disruptivo da Produção Inteligente até 2027. Inovações em Materiais Avançados, Nanotecnologia e Armazenamento de Energia devem intensificar o impacto disruptivo sobre o *status quo* do sistema de bens de capital ao longo da década.

A Produção Inteligente, no entanto, traz impactos diferentes a cada foco setorial analisado, com destaque para os seguintes:

- **Máquinas agrícolas:** salto radical na mecanização da produção pela utilização de veículos autônomos e conectados (tratores, colheitadeiras, semeadoras etc.) e sistemas de monitoramento remoto das condições do solo e da lavoura, além do favorecimento à gestão integrada da cadeia de valor a montante e a jusante.
- **Máquinas-ferramenta:** ampliação de capacidade de virtualização da produção para além da manufatura aditiva, inclusive do projeto, da fabricação e do uso de todos os tipos de máquinas.
- **Equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia (GTD):** interação com redes inteligentes de energia (*smart grid*) e com o uso crescente de fontes renováveis.
- **Bens elétricos seriados para uso industrial:** uso de novos motores elétricos de atuadores e sensores conectados por meio de robotização avançada.

Percepção internacional: estratégias em curso

Os avanços técnicos e mercadológicos recentes alimentam expectativas bastante otimistas quanto ao ritmo de disseminação da Produção Inteligente no futuro imediato. No entanto, ocorrem entraves em função de incertezas sobre o ritmo de desenvolvimento das capacidades cognitivas avançadas das máquinas, sobre os padrões tecnológicos necessários para a interoperabilidade dos equipamentos e sobre as dificuldades decorrentes da superposição de equipamentos de gerações tecnológicas diferentes, entre outras.

Existem dois modelos de referência de Produção Inteligente: o norte-americano e o alemão, conhecidos, respectivamente, como “manufatura avançada” e “Indústria 4.0”. Ambos estão alicerçados em sistemas empresariais e institucionais diferentes, mas coincidem na promoção de colaboração entre parceiros públicos e privados e no estabelecimento de padrões tecnológicos que aceleram o processo de desenvolvimento, disseminação e uso de conhecimento.

Paralelamente às iniciativas institucionais nos Estados Unidos e na Alemanha, os fabricantes de bens de capital desenvolvem estratégias próprias para se posicionar favoravelmente no campo da Produção Inteligente.

Percepção no Brasil: estratégias em curso

A economia brasileira conta com setores fortemente internacionalizados – como o de bens de capital – que acompanham de perto as melhores práticas mundiais de produção e de gestão. As potenciais vantagens da Produção Inteligente devem, portanto, ser amplamente exploradas nessas atividades.

Do lado da oferta, o sistema produtivo de bens de capital no Brasil conta com a presença de empresas globais cujas matrizes são atuantes no desenvolvimento da Produção Inteligente, enquanto as de capital nacional o acompanham.

Dessa forma, é certo que, no horizonte de cinco a dez anos, a Produção Inteligente encontrará terreno fértil no País, tanto no lado da demanda quanto no da oferta de bens de capital. Entidades governamentais e privadas partilham dessa percepção.

A pesquisa de campo junto aos fabricantes revela uma taxa de adoção das tecnologias de quarta geração extremamente reduzida até o presente momento. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que deve estar fundamentada na percepção do seu caráter disruptivo na dinâmica competitiva e na possibilidade de obtenção de ganhos efetivos em atributos determinantes da competitividade.

A despeito da percepção da importância dos impactos são relativamente poucas as empresas que declaram estar engajadas em ações concretas para adotar as tecnologias de nova geração. Comparativamente ao conjunto da indústria brasileira, no sistema produtivo de bens de capital, há maior intensidade de esforços em treinamento e P&D, e menor intensidade no caso de investimento.

O Brasil ainda não conta com uma iniciativa nos moldes das que existem nos Estados Unidos ou na Alemanha, que atue como instância mobilizadora e coordenadora dos esforços de desenvolvimento tecnológico das instituições de pesquisa, das empresas fabricantes de equipamentos e dos demandantes.

Desafios e implicações para o Brasil

O potencial disruptivo da Produção Inteligente pode ser o catalisador de um salto na produtividade da indústria brasileira. Representa uma oportunidade para induzir à renovação do parque industrial e trazer ganhos de eficiência para os setores demandantes e produtores de equipamentos. A mudança tecnológica é portadora de oportunidades de expansão dos negócios e de emparelhamento (*catching-up*) tecnológico e competitivo com os concorrentes.

O emparelhamento envolve apostas em tecnologias cujo processo de seleção pelo mercado ainda está em curso, porém o Brasil não pode aguardar o amadurecimento

e a redução dos riscos envolvidos no desenvolvimento e na disseminação da Produção Inteligente, como tampouco deve permitir que as oportunidades sejam aproveitadas exclusivamente pelas empresas líderes, mais capazes de assumir os riscos isoladamente.

O principal desafio consiste em ultrapassar os limites de uma disseminação defasada e limitada da Produção Inteligente na indústria brasileira, acelerando o ritmo e ampliando o alcance para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade se espalhem de forma mais ampla na estrutura produtiva. Para tanto, é necessário que alcance à maior parte das empresas que atuam no sistema produtivo de bens de capital.

A difusão do uso das novas tecnologias deve ser mais ampla e mais rápida. É necessário fortalecer a capacidade de desenvolver e disseminar conhecimento sobre as novas tecnologias digitais e promover sua utilização. Implica estabelecer canais que tornem mais fluido o fluxo de conhecimento entre a pesquisa e a atividade produtiva.

As empresas de base tecnológica podem realizar uma contribuição nesse sentido. Suas competências são complementares com as das empresas líderes da indústria de bens de capital. Criar um ambiente no qual o segmento das empresas de base tecnológica possa se expandir e renovar continuamente é uma forma de promover uma trajetória acelerada e ampla de difusão da manufatura digital.

O Brasil já desenvolveu capacidades para gerar e disseminar conhecimento em algumas das tecnologias que sustentam o avanço da Produção Inteligente. Conta com grupos de pesquisadores sofisticados em várias das áreas relevantes de conhecimento, e com empresas no sistema produtivo de bens de capital e em outros setores aptas a aplicar esse conhecimento.

A capacidade institucional de mobilizar e fazer convergirem as competências existentes no país é a principal fragilidade a enfrentar. Na ausência de qualquer iniciativa mais estruturante nessa direção, a disseminação da Produção Inteligente no horizonte de cinco a dez anos deve seguir uma trajetória bastante defasada e limitada em relação ao verdadeiro potencial da economia e do sistema produtivo brasileiro de bens de capital.



INTRODUÇÃO

Os bens de capital são utilizados no processo de produção e distribuição de outros bens e serviços pelos demais setores industriais e atividades, sendo, portanto, um segmento estratégico para a economia nacional. Encontra-se historicamente ligado ao crescimento e ao desenvolvimento econômico, por incorporar e disseminar o progresso técnico por meio de suas relações ao longo de inúmeras cadeias de valor e de produção.

O investimento, considerado um dos principais determinantes do desempenho econômico das empresas e dos países, torna-se a variável-chave quando se analisa a demanda de bens de capital. Sob o ponto de vista da contabilidade social, contempla a aquisição de máquinas e equipamentos – o cerne dessa indústria. Assim, ela não somente fornece a base para os investimentos e a ampliação da capacidade produtiva, como também permite a difusão das mudanças tecnológicas pelas mais variadas atividades que compõem as cadeias de criação de valor.

Além disso, a existência de uma indústria nacional de bens de capital contribui para reduzir a restrição externa ao crescimento econômico, uma vez que pode gerar exportações e diminuir a propensão a importar associada a uma dada taxa de investimento, melhorando o saldo comercial externo e facilitando o fechamento das contas registradas no balanço de pagamentos.

Assim, possuir um setor de bens de capital nacional bem estruturado permite que o efeito acelerador decorrente do crescimento econômico transcorra do modo mais pleno possível dentro da própria economia, evitando “vazamentos de renda” por meio de importações (MIGUEZ, WILLCOX & DAUDT, 2015, p. 298).

Já uma dependência elevada de bens de capital importados contribui para a deterioração das contas externas, ou mesmo para a interrupção do crescimento econômico em função de crises do balanço de pagamentos.

A delimitação da indústria de bens de capital é complexa. Sob essa categoria podem ser incluídos bens extremamente distintos, como máquinas e equipamentos propriamente ditos – associados à indústria mecânica – e outros produtos, como os relacionados à indústria de transporte – caminhões, ônibus, navios e aviões. A denominação pode ser, contudo, restrita ao setor de máquinas e equipamentos, cujos produtos são comumente classificados conforme suas especificidades técnicas e sua aplicação.

Tradicionalmente, os bens de capital podem ser divididos em “bens seriados” e “bens sob encomenda”. Os “bens de capital seriados” são aqueles produzidos em larga escala, com padronização de projeto – como máquinas agrícolas, tratores, caminhões e ônibus. Já os “bens de capital sob encomenda” são produzidos segundo características

técnicas associadas a cada processo produtivo e definidas pelos clientes – como prensas utilizadas por montadoras de automóveis, altos-fornos de siderúrgicas, turbinas de usinas hidrelétricas.

Para este documento, a delimitação dessa indústria ou sistema produtivo incluirá a produção de (i) máquinas e equipamentos, divididas em máquinas de uso geral e máquinas de uso específico; e (ii) equipamentos de geração, distribuição e armazenamento de energia². O primeiro compreende os seguintes segmentos:

- Máquinas e equipamentos agrícolas.
- Máquinas-ferramenta.
- Bens elétricos seriados de uso industrial.
- Equipamentos e sistemas de automação industrial.
- Máquinas e equipamentos para a indústria de plásticos.
- Máquinas para a indústria têxtil e de vestuário.
- Máquinas e equipamentos pesados.

Foram objeto de estudo mais aprofundado os seguintes segmentos do sistema produtivo de bens de capital, aqui denominados focos setoriais:

- Máquinas e equipamentos agrícolas, inclusive tratores, colheitadeiras automotri- zes e demais implementos.
- Máquinas-ferramenta, em especial máquinas de corte, deformação e sistemas integrados de manufatura.
- Bens elétricos seriados de uso industrial, com destaque para motores elétricos e baterias.
- Equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia, inclusive equi- pamentos para energia renovável.

Para cumprir seu objetivo, os resultados da pesquisa estão organizados em três partes. A primeira caracteriza o sistema de bens de capital e os focos setoriais selecionados, destacando sua importância econômica, suas principais características morfológicas e as principais tendências em curso no Brasil e no mundo. A Parte II identifica as tecno- logias potencialmente disruptivas no sistema de bens de capital e avalia os impactos observados e esperados de sua difusão no mundo e no Brasil, assim como as estraté- gias empresariais em curso. A Parte III identifica os desafios e as principais implicações dessas tecnologias para a indústria de bens de capital no Brasil.

2. Parte do setor denominado “bens de alta tecnologia” pela base de dados Euromonitor International.



1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA

O sistema produtivo de bens de capital representa uma parcela de aproximadamente 12% do valor total da produção industrial mundial – uma participação relativamente estável entre 1997 e 2016, assim como na estimativa para 2025, segundo a Euromonitor International (Tabela 1). Entretanto, sua contribuição para a atividade econômica e, em particular, para a indústria, não pode ser aferida apenas por sua dimensão relativa.

O sistema constitui um importante polo gerador e difusor de inovações para a economia global. As máquinas e os equipamentos desenvolvidos e produzidos no sistema, que recorrentemente incorporam avanços na engenharia de materiais, na eficiência energética, na precisão dos sensores e atuadores, na flexibilidade de utilização e na redução do tempo de preparação e de manutenção, tornam possíveis novos produtos e processos na produção e distribuição de bens e de serviços nas mais diversas atividades econômicas.

A Tabela 1 revela os grupos de produtos que compõem o valor da produção do sistema produtivo de bens de capital. No subconjunto “máquinas de uso geral”, destacam-se “equipamentos de ar condicionado não doméstico, de embalagem e outros equipamentos de uso geral” e “bombas, compressores, torneiras e válvulas”. Já dentre as “máquinas de uso específico”, destacam-se “máquinas e equipamentos para a indústria de borracha, de plástico, de papel e outras máquinas de uso” e “máquinas e equipamentos de uso na extração, mineração e na construção”. Nos “equipamentos de geração, distribuição e armazenamento de energia”, estão incluídos os “equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica”, “geradores, transformadores e motores elétricos” e “fios, cabos e condutores elétricos isolados”.

Tabela 1 – Participação (percentual) da indústria no valor da produção de todas as atividades econômicas e composição do valor da produção industrial e do valor da produção do sistema de bens de capital, 1997/2025

	Participação (%)		
	1997	2016	2025
Composição do valor da produção da indústria			
Energia, utilidades e reciclagem	19,8	21,3	19,7
Bens intermediários	32,9	34,8	36,4
Alimentos, bebidas e tabaco	15,4	13,9	13,7
Bens pessoais	12,5	11	11,1
Máquinas e equipamentos	7,8	7,8	8,2
Bens de alta tecnologia	11,6	11,3	10,9
Sistema produtivo de bens de capital	11,8	11,9	12,3
Composição do VP do sistema produtivo de bens de capital			
Máquinas de uso geral	38,74	37,55	36,47
Máquinas de uso específico	27,76	27,9	29,9
Equipamentos de geração, distribuição e armazenamento de energia	33,5	34,54	33,63

Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

A produção de bens de capital também reflete as profundas transformações da economia mundial nas últimas décadas do ponto de vista da localização geográfica, pois acompanhou o deslocamento da produção manufatureira para a região Ásia-Pacífico.

A Tabela 2 mostra a profunda mudança na divisão internacional do trabalho entre 1997 e 2016. A Ásia já detinha a maior proporção da produção industrial mundial no início do período. Essa tendência foi reforçada até 2016, com acentuação do seu deslocamento para a região, e deve seguir forte até 2025, de acordo com a Euromonitor International.

No caso do sistema produtivo de bens de capital, o movimento se mostrou ainda mais importante, pois a região Ásia-Pacífico deteve perto de 60% da produção mundial em 2016 e deve atingir uma participação de quase 70% em 2025. A contraparte de seu fortalecimento produtivo foi a perda relativa das demais regiões produtoras de bens de capital.

Tabela 2 – Participação regional na produção mundial da indústria e do setor de bens de capital, 1997, 2016, 2025

Setor	Participação na produção mundial (%)		
	1997	2016	2025
Ásia-Pacífico			
Indústria	29,8	54,7	61,9
Bens de capital	31,2	59,8	68,6
Europa Ocidental			
Indústria	27,4	16,8	13,3
Bens de capital	33,7	20,3	15,6
América do Norte			
Indústria	23,6	13,1	10,4
Bens de capital	25	12	8,6
América Latina			
Indústria	6,6	5,2	4,9
Bens de capital	3,5	2,8	2,5
Europa Oriental			
Indústria	4,7	4	3,8
Bens de capital	3,9	3,2	3,2
Outros⁽¹⁾			
Indústria	7,8	6,3	5,6
Bens de capital	2,7	2	1,6

Notas: (1) Oriente Médio, África e Australásia.
Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

No período em análise, em termos individuais, a China é sem dúvida o destaque de progressão da produção, da exportação e mesmo da importação dos bens de capital (Tabela 3). A progressão da produção chinesa em 19 anos foi espetacular, saindo da quarta posição em 1997 para a primeira em 2007. Distanciou-se cada vez mais dos demais produtores ano a ano, até assumir 42,7% da produção mundial em 2016. Índia, Coreia do Sul, México e Brasil mostraram importante crescimento no valor produzido, mas continuaram muito abaixo da China, de forma que apenas os dois primeiros conseguiram elevar sua participação na produção mundial.

Tabela 3 – Os 15 maiores produtores mundiais de bens de capital por valor total⁽¹⁾ e participação na produção mundial, 1997, 2016, 2025 (em US\$ mi, 2016)

País	Produção anual (US\$ mi)		Participação na produção mundial (%)		
	1997	2016	1997	2016	2025
Mundo	2.811.787	5.575.696			
China	196.845	2.382.132	7	42,7	53,1
Estados Unidos	651.178	593.644	23,2	10,6	7,6
Japão	464.479	452.015	16,5	8,1	5,5
Alemanha	309.500	413.662	11	7,4	5,2
Coreia do Sul	71.461	182.477	2,5	3,3	2,9
Itália	154.808	177.509	5,5	3,2	2,7
Índia	45.296	120.788	1,6	2,2	2,5
França	105.109	97.005	3,7	1,7	1,3
Reino Unido	91.161	65.074	3,2	1,2	0,8
Suíça	64.054	61.718	2,3	1,1	0,8
Canadá	52.101	61.494	1,9	1,1	0,9
Brasil	32.536	59.019	1,2	1,1	0,9
Taiwan	33.923	51.876	1,2	0,9	0,8
México	26.857	50.634	1	0,9	0,8
Espanha	36.707	48.651	1,3	0,9	0,7

Notas: (1) Apresentados em ordem decrescente de 2016.
Fonte: Elaboração própria, com dados do Euromonitor International.

A Tabela 4 complementa a análise, apresentando os dados relativos aos 15 maiores consumidores de bens de capital em 2016, ordenados pelo tamanho do mercado. A China tornou-se o maior mercado do mundo para os bens de capital, sendo 3,3 vezes maior que o segundo colocado (Estados Unidos). Embora tenha se tornado o segundo maior importador no mundo em 2016, a China é superavitária na balança comercial de bens de capital. Suas exportações são, inclusive, uma importante fonte de dinamismo para o setor doméstico, com 12% do valor produzido domesticamente destinado à exportação em 2016.

Tabela 4 – Dados do sistema produtivo de bens de capital dos 15 maiores consumidores de bens de capital, 2016

País	Consumo aparente (US\$ mi)	Produção (US\$ mi)	Exportação (US\$ mi)	Importações (US\$ mi)	Saldo comercial (US\$ mi)
Mundo	5.587.272	5.575.696	2.009.472	2.021.048	-
China	2.263.138	2.382.132	296.441	177.447	118.995
Estados Unidos	691.075	593.644	210.434	307.864	-97.431
Japão	340.231	452.015	182.506	70.722	111.784
Alemanha	286.568	413.662	275.983	148.888	127.095
Coreia do Sul	167.192	182.477	67.475	52.191	15.284
Índia	138.711	120.788	22.721	40.644	-17.923
Itália	117.667	177.509	104.018	44.176	59.842
França	103.063	97.005	64.964	71.022	-6.058
Canadá	89.565	61.494	29.845	57.917	-28.072
Reino Unido	73.697	65.074	46.549	55.172	-8.623
Brasil	71.602	59.019	11.419	24.002	-12.583
Rússia	67.645	41.415	7.968	34.198	-26.230
México	58.928	50.634	63.542	71.837	-8.294
Indonésia	56.827	38.487	6.168	24.509	-18.340
Espanha	56.239	48.651	29.143	36.731	-7.587

Fonte: Elaboração própria com dados do EuromonitorInternational.

Os Estados Unidos figuram como o segundo maior mercado mundial, com um vasto setor produtivo, mas com um importante viés importador. Enquanto se mantêm como o terceiro maior exportador de bens de capital, são o primeiro importador, apresentando o maior déficit comercial entre os maiores consumidores mundiais do setor em 2016.

O Japão se apresenta como o terceiro maior mercado consumidor e produtor. No campo externo, suas exportações são mais relevantes para o equilíbrio do sistema produtivo doméstico de bens de capital que as importações. Em 2016, 12% do valor produzido localmente foi destinado às exportações, gerando o terceiro maior superávit comercial do ano.

A Alemanha foi o quarto maior mercado mundial do setor em 2016, com exportações próximas a 70% do valor produzido internamente. Apesar do crescimento das importações no período, que aumentou seu coeficiente de importações, constata-se a grande importância da demanda externa para o bom andamento da produção local. O país segue fortemente superavitário no comércio exterior de bens de capital, com o maior superávit comercial de 2016, seguido pela China e só então o Japão.

A Coreia do Sul foi o quinto maior mercado de bens de capital em 2016. Embora uma grande proporção do valor produzido localmente tenha se destinado às exportações (36%), o alto volume de importações (29% do valor produzido) garantiu apenas um pequeno superávit para o setor.

Na América Latina, apenas o México se destaca nas quatro óticas aqui enfocadas – produção, exportação, importação e consumo aparente. Os dados sugerem, contudo, que essa proeminência pode decorrer das transações que ocorrem dentro do Tratado Norte-Americano de Livre Comércio (*North American Free Trade Agreement* – NAFTA). Assim, o país se mostra menos importante como consumidor e produtor do que como importador e exportador de bens de capital, indicando uma produção dependente dos demais parceiros do bloco.

A Índia, tal como o Brasil, tem no mercado interno seu principal foco. Os dois países são grandes consumidores, produtores e importadores de bens de capital – ainda que o Brasil em menor proporção, não figurando sequer entre os 15 maiores importadores em 2016, quando os dois países foram deficitários na balança comercial de bens de capital. Nesse ano, China, Japão, Alemanha, Coreia do Sul e Itália foram vendedores líquidos de bens de capital, enquanto Estados Unidos, Canadá e Rússia se destacaram entre os deficitários.

No Brasil, o sistema produtivo de bens de capital foi implantado ao longo do processo de industrialização, particularmente nas fases mais avançadas, a partir dos anos 1970. Os últimos dados disponíveis da Pesquisa Industrial Anual, do IBGE, mostram que atuam na produção de bens de capital aproximadamente 2,8 mil empresas que empregavam, em 2015, em torno de 420 mil pessoas.

Assim como nos outros países fabricantes do setor, predominam empresas de pequeno porte, mas seu núcleo dinâmico é composto por empresas grandes e médias, com forte capacitação tecnológica e com predomínio de filiais de empresas estrangeiras. A produção doméstica atende boa parte do mercado interno, mas é complementada por uma proporção importante de equipamentos importados. Os bens de capital produzidos no país também incorporam, por sua vez, uma quantidade importante de insumos importados³. Passando por uma forte depressão, com as empresas domésticas apresentando uma alta capacidade produtiva ociosa, o Brasil amargou um grande déficit comercial de bens de capital em 2016.

A produção de bens de capital acompanhou o desempenho recente da economia brasileira. A retomada e a aceleração do crescimento a partir de 2003 viabilizaram a forte expansão da demanda de máquinas e equipamentos, que se traduziu em aceleração da produção, especialmente de 2006 a 2008 – quando a crise internacional interrompeu o processo virtuoso que se havia instaurado. A retomada de 2010 gerou ânimo nos produtores locais e a produção permaneceu em alto patamar, mantido até meados de 2013, e então passou a cair de forma sistemática. A queda na produção física arrefeceu apenas em 2016, quando se estabeleceu um novo patamar, com alta ociosidade da capacidade produtiva⁴.

3. Segundo estimativas da CNI, em 2016 o coeficiente de penetração das importações de máquinas e equipamentos foi de 31,3%, e o de máquinas, aparelhos e materiais elétricos, de 23,4%. Já o coeficiente de insumos industriais importados foi de 20% e 24,2%, respectivamente. Disponível em: <http://www6.sistemaindustria.org.br/gpc/externo/listaResultados.faces>

4. A Associação Brasileira de Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ, 2017) estima que o nível médio de utilização da capacidade instalada esteja em 66,6%.

Em termos de mudanças no sistema entre 2007 e 2015, chama atenção a expansão da “fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos” e da “fabricação de máquinas e equipamentos de uso na extração mineral e na construção”. O primeiro caso decorre dos importantes investimentos na área de energia elétrica ocorridos no país, que devem continuar a ocorrer no futuro. O segundo caso é provocado pelo ciclo de investimentos em *commodities* minerais, assim como na infraestrutura – que acabou, inclusive, por atrair importantes produtores globais de equipamentos para o Brasil.

O fim do ciclo de investimentos mais amplos da indústria automobilística, da indústria de petróleo e gás e a queda dos investimentos públicos no Brasil são indicadores de que as dificuldades para a indústria de máquinas e equipamentos brasileira perduram por algum tempo. Até que haja uma importante retomada da atividade econômica no país, com recuperação da ocupação da capacidade instalada, os investimentos decorrerão, ou da cobertura da depreciação física, ou da busca de eficiência produtiva, ou da introdução e disseminação de inovações e de novos negócios. Nessa conjuntura, a antecipação dos impactos potenciais e, principalmente, das oportunidades que tecnologias disruptivas possam trazer nos próximos anos para os fabricantes de bens de capital no Brasil reveste-se de especial importância.

1.1 Máquinas e implementos agrícolas

O setor de máquinas e implementos agrícolas inclui produtos para uso agrícola e florestal, que podem ser subdivididos em quatro categorias: (i) tratores agrícolas; (ii) máquinas para preparação do solo, plantio ou fertilização, como arados, espalhadores de estrume, semeadores, grades, cortadores; (iii) máquinas para colheita e debulha, como colheitadeiras e debulhadores; e (iv) outras máquinas para uso agrícola e florestal, que reúnem uma ampla gama de produtos como máquinas de pulverização agrícola, equipamentos para preparação de forragem, máquinas de ordenha, equipamentos para apicultura, chocadeiras e criadeiras para avicultura, assim como máquinas para limpar, separar e classificar ovos, frutas etc.

A produção mundial de máquinas e implementos agrícolas é caracterizada por uma significativa concentração em um número reduzido de países, com crescente participação de países da região asiática, principalmente da China (Tabela 5). Em 2016, ela liderou o *ranking*, seguida por Estados Unidos, Alemanha, Índia e Itália. No mesmo ano, o Japão assumiu uma posição nesse *ranking* que contrasta com sua terceira colocação na produção de bens de capital em geral.

Os cinco e dez maiores produtores aumentaram a concentração da oferta de máquinas e implementos agrícolas para, respectivamente, 63,9% e 76,7% da produção mundial em 2016. Cabe notar o significativo crescimento médio anual do valor da produção chinesa e indiana no período 1997-2016 (respectivamente, 8,0% e 9,5%), que alterou de forma substancial a participação dos países na produção mundial.

O crescimento da mecanização da agricultura em países como China e Índia – emergentes e com baixos índices de mecanização – tem estimulado a demanda doméstica e a produção de máquinas e implementos agrícolas.

A indústria chinesa de máquinas e equipamentos, por exemplo, beneficiou-se da enorme demanda doméstica, impulsionada pelos investimentos e pela aceleração da industrialização e da urbanização (EU-SME CENTRE, 2011; FANG, 2015). Ademais, o desenvolvimento da indústria chinesa de máquinas e equipamentos obteve forte apoio do governo chinês durante o período do 11º e do 12º Plano Quinquenal (2006-2010 e 2011-2015, respectivamente).

No caso específico do segmento de máquinas agrícolas, a demanda doméstica liderada pelos investimentos e pela modernização da produção no campo tem sido crucial para estimular a produção local de uma enorme variedade de produtos. Como exemplo, a produção chinesa de grãos passou de 530 milhões de toneladas em 2009 para 600 milhões em 2013, estimulando enormemente a demanda de máquinas agrícolas. Ademais, o governo central subsidiou diretamente a compra de um total de 16,7 milhões de vários tipos de máquinas agrícolas no período 2004-2014 (FANG, 2015).

Tabela 5 – Maiores produtores mundiais de máquinas e implementos agrícolas em 2016 e sua produção em valores absolutos e em participação, 1997 e 2016

Posição em 2016	País ⁽¹⁾	Produção (US\$ bi, 2016)		Participação (%)		
		1997	2016	1997	2016	
1	China	13,6	55,8	10,5	29,3	▲
2	EUA	27,8	30,1	21,5	15,8	▼
3	Alemanha	9,5	14,2	7,4	7,5	▲
4	Índia	2,5	12,4	1,9	6,5	▲
5	Itália	7,7	9,2	5,9	4,8	▼
6	Japão	9,7	6,8	7,5	3,6	▼
7	França	5,1	5,8	3,9	3	▼
8	Brasil	3,6	5,7	2,8	3	▲
9	Países Baixos	1,6	3,1	1,3	1,6	▲
10	Coreia do Sul	2,3	3,1	1,8	1,6	▼
11	Canadá	2,2	2,9	1,7	1,5	▼
12	Turquia	4,7	2,8	3,6	1,5	▼
13	Reino Unido	4,4	2,7	3,4	1,4	▼
14	Áustria	1,5	2,5	1,2	1,3	▲
15	Suíça	2,6	2,3	2	1,2	▼
16	Bielorrússia	8,9	2,1	6,9	1,1	▼
	Cinco maiores	69,5	121,7	53,8	63,9	▲
	Dez maiores	95	146,2	73,4	76,7	▲
	Mundo	129,4	190,4	100	100	

Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

Por sua vez, o Brasil atingiu o oitavo lugar na produção mundial de máquinas e implementos agrícolas em 2016, com participação de 3,0% e crescimento médio anual de 4,0% no período 1997-2016. Trata-se de um resultado acima da média mundial e do apresentado pelos principais países desenvolvidos, em boa parte decorrente do avanço da mecanização e da renovação da frota de máquinas agrícolas, mas ainda aquém do expressivo crescimento da Índia e da China.

A categoria de máquinas para colheita e debulha inclui produtos tecnologicamente mais sofisticados, como as colheitadeiras. Sua produção, concentrada em países desenvolvidos no início do período analisado, acabou se disseminando para países em desenvolvimento, com destaque para China, Índia e Brasil, que figuraram entre os principais produtores de 2016 junto à Itália à Alemanha. Juntos, os cinco concentraram pouco mais da metade da oferta de máquinas para colheita e debulha do ano. O crescimento do valor da produção chinesa, indiana e brasileira teve destaque novamente no período 1997-2016 – respectivamente, 8,5%, 8,5% e 7,1%. O Brasil logrou aumentar sua participação no período, alcançando o quinto lugar dentre os maiores produtores mundiais, com uma expressiva participação de 7,8% em 2016.

O perfil das empresas produtoras é bastante heterogêneo, com predomínio quantitativo das micro e pequenas, mas com significativa concentração da oferta em um número bastante reduzido de grandes empresas, muitas delas com atuação internacional. Essa característica pode ser facilmente observada nos dados sobre a distribuição do número de empresas dos maiores produtores mundiais de máquinas e implementos agrícolas, assim como nos dados sobre a participação de cada grupo de empresas no valor da produção de máquinas agrícolas de cada país analisado⁵.

Em meio ao elevado número de empresas atuantes no segmento de máquinas agrícolas em 2016, destacam-se países em desenvolvimento como a Índia, com 166,5 mil empresas, e a China, com quase 34 mil. O Brasil também se destacou, com quase 7,5 mil empresas, apesar de uma redução de 27% desde o início do período analisado. Nos países mais desenvolvidos, existe um número menor de empresas atuantes – entre dois e seis mil – e boa parte deles sofreu uma redução entre 1997 e 2016, à exceção de Canadá, Espanha e Reino Unido.

Dividindo as empresas em subgrupos por tamanho, porém, percebe-se uma elevada concentração da produção de máquinas agrícolas nas mãos de grandes corporações. Destacam-se os Estados Unidos, onde as grandes, que representam 2,6% do total, concentraram 80% da produção em 2016. Essa característica, porém, não é tão evidente no Japão, onde médias empresas representam 4% do total e concentraram 65% da produção. Já na Itália, as grandes são apenas 0,2% do total, mas foram responsáveis por mais da metade da produção (55%), enquanto na China as médias e grandes empresas produziram, respectivamente, 32,3% e 50% das máquinas agrícolas.

5.A base de dados Euromonitor International somente disponibiliza a distribuição do número de empresas por tamanho e por participação na produção para um grupo de 18 países mais relevantes, dos quais foram selecionados os seis maiores produtores mundiais de máquinas agrícolas, além do Brasil.

Algumas grandes empresas internacionalizadas controlam a produção nos países desenvolvidos da Europa e da América do Norte. Trata-se de empresas de origem norte-americana – como Deere & Company (John Deere), AGCO e Toro – e europeia – como a CNH Industrial e a CLAAS – que produzem uma ampla gama de máquinas e equipamentos, inclusive as diversas categorias de máquinas agrícolas (Tabela 6). Em sua maioria, essas empresas atuam em todos os continentes por meio de fábricas próprias e de parcerias com empresas locais que envolvem desenvolvimento, produção e comercialização de máquinas específicas e de pequeno volume de produção.

Tabela 6 – Empresas líderes dos principais países produtores de máquinas e implementos agrícolas e sua participação na produção doméstica em 2010 e 2016

Países / empresas	Participação (%)	
	2010	2016
China		
John Deere Investent	3,2	1,8
First Tractor Co.	1,7	1,1
Foton Lovol International Heavy Industry	0,7	0,6
Changzhou Globe Tools	0,2	0,2
Estados Unidos		
Deere &Co	24,4	18,6
CNH Industrial	11,8	7,6
The Toro Co.	3,2	3,2
AGCO	3,7	2,7
MTD Products	1,4	1,2
Alemanha		
Deere &Co	21,9	14,8
CLAAS	15,4	13,2
AGCO	24	10,5
Bernard Krone Holding	2,2	3,9
Amazonen-Werke H Dreyer	2,6	2,8
Same Deutz-Fahr Deutschland	3	2,4
Índia		
Mahindra & Mahindra	10,1	13,8
Tractors & Farm Equipment	8,4	8,4
John Deere India	0,4	6,8
Escorts	5,6	5,1
New Holland Fiat	3,8	3,9
Itália		
ARGO	5	5,6
CNH Italia	4	3,5
Global Garden ProductsItaly	2,7	2,8
Same Deutz FahrItalia	2,6	2,8
BCS	1,6	1,2
Brasil		
John Deere Brasil	16,7	30,9
CNH Latin America	15,3	20,8
Agco do Brasil	8,2	9,9
Máquinas Agrícolas Jacto	4,7	4,1
Stara S.A. Indústria de Implementos Agrícolas	1,4	3

Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

Nos Estados Unidos, a John Deere, uma das maiores fabricantes mundiais de máquinas e implementos agrícolas, controlou 18,6% da produção em 2016, seguida pela CNH (7,6%) e pela Toro (3,2%). Na Alemanha, a John Deere também se destacou (14,8%), seguida de perto pela produção da alemã CLAAS (13,2%), que mantém atuação mais regional, e da AGCO (10,5%). Na Itália, apesar da menor concentração da produção em grandes empresas, ainda assim se observou a participação relevante da Argo Tractors (5,6%), italiana de atuação local, e da CNH Itália (3,5%).

As empresas líderes globais contam com produção diversificada, tanto em linhas de produtos e de serviços como em locais de fabricação. Contam também com centros próprios de pesquisa e desenvolvimento. A John Deere, por exemplo, é uma das principais fabricantes mundiais de máquinas e equipamentos para agricultura, mas também para construção e indústria florestal, com mais de 120 instalações que incluem plantas produtivas, centros de distribuição, escritórios de vendas e/ou centros de *marketing* em mais de 30 países. A empresa mantém seis centros principais de inovação e tecnologia, localizados nos Estados Unidos, Alemanha e Índia.

Já a CNH industrial é uma das principais concorrentes da John Deere na fabricação de equipamentos agrícolas e de construção, além de produzir veículos pesados comerciais (como caminhões e ônibus), equipamentos marítimos e motores. A empresa, criada em 2013 após a fusão da Fiat Industrial e da CNH Global, engloba 12 marcas comerciais, 65 fábricas, 50 centros de pesquisa e desenvolvimento e presença em 180 países. Na América Latina, a empresa possui seis centros de pesquisa e desenvolvimento.

Nos países asiáticos em desenvolvimento, predominam empresas de capital nacional, inclusive de grande porte, com participação marginal das grandes fabricantes transnacionais de máquinas agrícolas. Na China, não há concentração relevante da produção, que é mais pulverizada entre fabricantes de capital nacional. A John Deere (EUA) deteve apenas 1,8% da produção chinesa em 2016, seguida pela First Tractor (1,1%), única grande empresa chinesa de máquinas agrícolas que, especializada na produção de tratores, tem origem no 1º Plano Quinquenal da China (1953-1957). Contudo, todas as grandes empresas mundiais têm realizado investimentos em bases produtivas no país (FANG, 2015).

Na Indonésia, a produção de máquinas agrícolas contou com elevada participação da Karya Hidup Sentosa (29,0% em 2016), grande fabricante local de tratores. Na Coreia do Sul, a empresa local Daedong Industrial deteve 9,4% da produção no mesmo ano, seguida pela também coreana LS Mtron (9,0%). Ambas são fabricantes de tratores agrícolas, com algumas plantas em outros países, como nos EUA, na Europa e no Brasil (DAEDONG e LSMTRON). Na Índia, existe elevada concentração da produção nas mãos de grandes empresas, com predomínio do conglomerado diversificado indiano Mahindra & Mahindra (13,8% em 2016), grande produtor mundial de tratores.

Diferentemente dos países asiáticos, a produção de máquinas agrícolas nos países latino-americanos em desenvolvimento (Brasil e México) tem sido controlada por duas empresas estrangeiras, que inclusive aumentaram sua participação ao longo dos últimos anos: John Deere e CNH. Em 2016, a John Deere deteve 30,9% da produção no Brasil e a CNH, 20,8%. A produção brasileira ainda contou com a presença marginal de empresas nacionais, como a Jacto (4,1%), que produz equipamentos e soluções para agricultura de precisão nos segmentos de pulverização e adubação, além de colhedoras para café e laranja, e a Stara (3,0%), que produz uma variedade de máquinas e implementos agrícolas, como tratores, pulverizadores e semeadoras (JACTO e STARA).

Cabe salientar que a heterogeneidade de produtos no segmento analisado implica fatores de competitividade distintos. A produção de máquinas consideradas mais simples, com menor conteúdo tecnológico, depende da maior escala como fator crítico de competitividade e foca na concorrência por meio de custo e preço, apresentando barreiras relativamente mais baixas à entrada. Menor importância relativa tem o aprimoramento tecnológico do produto. Por sua vez, a produção de máquinas mais sofisticadas, como tratores e colheitadeiras, tem como fator essencial a incorporação de tecnologia avançada.

Em geral, o segmento produtor de máquinas agrícolas, considerando seus principais produtos, assim como o setor agrícola para o qual fornece, dependem cada vez mais de investimentos em tecnologia para a ampliação de sua competitividade. As grandes empresas transnacionais que controlam o oligopólio mundial do setor lideram os esforços de investimento em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, procurando melhorar o desempenho e a eficiência das máquinas em sua relação com a atividade agrícola. Essas empresas também costumam realizar parcerias de pesquisa, e algumas patentes são registradas em nome de várias delas – o que se torna relevante para a atuação em nichos de mercado, como tratores para frutas e colheitadeiras específicas (VIAN, 2009).

A competitividade das principais produtoras de máquinas agrícolas, acompanhando o que pode ser afirmado para bens de capital em geral, encontra-se estreitamente relacionada à existência de instalações, maquinário, mão-de-obra competente, parque de fornecedores especializados, capacidades em engenharia de projeto e produto, comercialização, assistência técnica e pós-venda.

As distintas características da agricultura exigem, além disso, a adaptação das máquinas para as condições de cada região do mundo. Embora a pesquisa e o desenvolvimento de produtos sejam concentrados nos países de origem das empresas, torna-se fundamental a atividade de engenharia para a adaptação das máquinas às regiões em que serão usadas, a tropicalização dos projetos.

A localização e a capacitação das subsidiárias são fatores de competitividade cada vez mais importantes para as empresas, que passaram a investir em novas unidades nas regiões que lideram o avanço da agricultura. Como exemplo, pode-se destacar a criação de fábricas da John Deere na Ásia e no Brasil, da empresa italiana Argo Tractors no Brasil, a reativação da fábrica de Sorocaba da Case (atual CNH Industrial) e os acordos de cooperação da AGCO na Ásia.

Historicamente, a demanda de máquinas e implementos agrícolas no Brasil é estimulada pela evolução de sua produção no setor, especialmente incentivada pela elevação dos preços das *commodities* agrícolas – notadamente grãos – ao longo dos anos recentes de crescimento econômico. O Brasil pertence ao grupo de países de elevado consumo aparente, com acentuada participação de sua produção voltada essencialmente para o mercado interno. Por sua vez, o avanço da produção agrícola e da mecanização no campo, além da renovação da frota, contribuíram para o crescimento da produção brasileira de máquinas e implementos agrícolas.

No período 1997-2016, o valor da produção brasileira de máquinas e implementos agrícolas cresceu aproximadamente 55,3%, passando de US\$ 3,6 bilhões em 1997 para US\$ 5,7 bilhões em 2016 – a preços constantes e a taxas de câmbio fixas de 2016. Seu crescimento médio anual no período citado foi de 4%, acima da média mundial e da taxa apresentada pelos principais países produtores desenvolvidos. Além de contar com um mercado doméstico de grandes dimensões, o país é um exportador líquido de produtos finais, embora tenha papel reduzido no comércio mundial de máquinas e implementos agrícolas.

Houve fortes oscilações da produção brasileira de máquinas e implementos agrícolas ao longo do período analisado. O crescimento no período 2000-2004 foi estimulado pelo bom desempenho da economia e do agronegócio de grãos. A contração da produção no biênio 2005-2006, decorrente de estiagens que provocaram quebras de safra, descapitalizou os produtores rurais, reduzindo as vendas de máquinas para o mercado interno.

A queda foi mais acentuada em 2006, com o acréscimo do recuo das exportações, afetadas fortemente pela apreciação do real frente ao dólar. Nesse ano, 67% dos tratores em operação no Brasil tinham mais de 12 anos de uso, o que revela o sucateamento da frota nacional e a necessidade de renovação (CÉLERES, 2014). No momento seguinte, retomou-se o crescimento da demanda de máquinas e equipamentos, que se traduziu em aceleração da produção doméstica, especialmente no biênio 2007-2008. Como consequência da contribuição da crise econômica internacional, a produção brasileira de máquinas e implementos agrícolas teve queda expressiva de quase 27% em 2009, superando a redução da produção mundial nesse ano (10%).

O crescimento da produção de máquinas agrícolas no período 2010-2013 foi estimulado pela renovação e ampliação da frota nacional – fruto da maior capitalização dos produtores agrícolas, beneficiados com a boa rentabilidade dos grãos. Além disso, contribuíram as condições de financiamento a juros baixos, facilitadas por programas e linhas de crédito governamentais como o Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (Moderfrota)⁶, mas principalmente o Programa de Sustentação do Investimento (PSI) e o Finame, do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), criados no segundo semestre de 2009 no cenário da crise mundial (CÉLERES, 2014).

A partir de 2014, a produção brasileira de máquinas e implementos agrícolas passou a cair de forma sistemática. A desvalorização dos grãos no mercado global por excesso de oferta acabou surtindo efeitos negativos sobre a produção agrícola e a demanda de máquinas. Os produtores se tornaram mais cautelosos e passaram a restringir investimentos, especialmente em máquinas agrícolas. A frota de tratores e colheitadeiras adquirida nos anos de crescimento (2010-2013), relativamente nova, portanto, também contribuiu para desacelerar vendas e produção nesse período recente (CÉLERES, 2014).

O segmento nacional de máquinas e implementos agrícolas também é caracterizado pela heterogeneidade de produtos fabricados e comercializados, assim como se observa na indústria de bens de capital em geral e, especificamente, no segmento mundial de máquinas agrícolas. Isso implica na inclusão de máquinas tecnologicamente mais sofisticadas, como tratores e colheitadeiras, assim como a produção de bens tecnologicamente mais simples, como a maioria dos implementos agrícolas.

Os dados do IBGE mostram em 2015 a presença no Brasil de 314 empresas do setor com mais de 30 empregados. O total de pessoas empregadas nesse ano pelo setor foi de aproximadamente 55 mil. Somente um número reduzido de empresas empregava mais de 250 funcionários – segundo a Euromonitor International, 37 empresas em 2016. Dentre elas, as principais fabricantes de máquinas agrícolas mundiais, que atuam principalmente com fábricas próprias, controlam grande parte da produção e do mercado brasileiro e ditam os rumos da produção e do desenvolvimento tecnológico. Algumas delas também realizam parcerias com outras empresas locais, incluindo a aceleração de *startups*.

6. O Moderfrota foi criado em 2000 para financiar a aquisição de tratores, colheitadeiras, plataformas de corte, pulverizadores, plantadeiras, semeadoras e equipamentos para preparo, secagem e beneficiamento de café, novos e usados, com certificado de garantia emitido por concessionário autorizado. O programa pretendia beneficiar produtores rurais e cooperativas com juros subsidiados pelo Governo Federal.

1.2 Máquinas-ferramenta

Máquinas-ferramenta operam ferramentas que deformam a matéria-prima, moldando-a⁷ ou subtraindo material⁸. A nomenclatura da Euromonitor International, que tem como referência a quarta revisão da *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities – ISIC Rev4*), subdivide a fabricação de máquinas-ferramenta entre ferramentas elétricas portáteis, máquinas-ferramenta para metais e outras máquinas-ferramenta.

As máquinas-ferramenta para metais são o segmento mais importante em termos de valor produzido, com US\$ 157,4 bilhões em 2016. No mesmo ano, a produção de outras máquinas-ferramenta gerou US\$ 54,4 bilhões e a produção de ferramentas elétricas portáteis, US\$ 33,7 bilhões. As portáteis, como se verá mais à frente na apresentação de algumas das grandes empresas do setor, envolvem tanto a produção de ferramentas elétricas industriais quanto domésticas, de interesse menor para o estudo.

A demanda por máquinas-ferramenta cresceu significativamente entre 1997 e 2016, impulsionada principalmente pela expansão da produção industrial na Ásia. Com esse desempenho, a região Ásia-Pacífico, que em 1997 ainda dividia o papel de maior demandante de máquinas-ferramenta com a Europa Ocidental, passou a ser o maior mercado em 2016 – seguido da América do Norte, Europa Ocidental, Europa Oriental e América Latina.

No período de 1997 a 2016, a grande novidade na geografia do setor foi a emergência da região Ásia-Pacífico como grande produtora e consumidora de máquinas-ferramenta. As regiões tradicionalmente produtoras – Alemanha, Japão e Estados Unidos – perderam fatias substanciais de mercado, mas vêm mantendo a produção das máquinas, partes e peças tecnologicamente mais sofisticadas em seus territórios, enquanto suas empresas também produzem em mercados de baixo custo, como a China.

Por outro lado, o avanço tecnológico na Coreia do Sul e na China, países que contam com grandes empresas nacionais, não deve ser subestimado, assim como a combinação dessa escalada tecnológica com custos ainda menores, especialmente na China. Os próprios investimentos das empresas norte-americanas, japonesas e alemãs na região, que no passado se faziam pelo baixo custo, passaram a ser feitos pela demanda e, aos poucos, podem significar um posicionamento estratégico frente aos ativos tecnológicos.

Os governos dos países desenvolvidos, por outro lado, preocupam-se com a desindustrialização, lançando políticas industriais e de ciência e tecnologia. Essa estratégia serve, senão para recuperar, ao menos para reter a capacidade industrial e inovadora de seus territórios.

7. As máquinas de conformação são as prensas, forjadoras e estampadoras, entre outras.

8. A subtração em geral é realizada por arranque de cavaco, como as máquinas de eletroerosão, os centros de usinagem, tornos, furadeiras, mandriladoras, fresadoras, retificadoras, brunidoras, rebarbadoras, afiadoras, serras e outras.

A Gardner Research (GARDNER WEB, 2016) afirma que o *boom* de vendas de máquinas-ferramenta no período 2003-2011 foi alimentado pela demanda por equipamentos de baixa e média intensidade tecnológica. A partir de 2012, aumentou a demanda por equipamentos mais eficientes e flexíveis, assim como por máquinas-ferramenta de comando numérico computadorizado (CNC) de cinco ou seis eixos ou pelas multitarefas – que garantem maior produtividade e/ou recomposição de tarefas com relativa facilidade.

Essa procura por equipamentos mais sofisticados esteve associada a mudanças em alguns segmentos demandantes. A concorrência no segmento automobilístico, por exemplo, pela produção de modelos que gastem menos combustíveis fósseis, que usem combustíveis alternativos – os quais exigem novos motores –, ou ainda que sejam autônomos, impulsionou a compra de novas máquinas e equipamentos nos mercados de origem das grandes montadoras: Estados Unidos, Europa, Japão e Coreia do Sul. Investimentos na indústria aeronáutica e a escalada armamentista também teriam resultado em boas vendas de equipamentos mais sofisticados nos países desenvolvidos e na Ásia, onde a movimentação militar tem sido maior.

Em termos da demanda, a produção de máquinas-ferramenta experimentou forte expansão em todo o período, principalmente na região Ásia-Pacífico. As projeções da Euromonitor International para 2025 mostram forte expansão na região, que deverá concentrar 70% da produção mundial no final do período. Poder-se-ia dizer que as próprias políticas industriais e de ciência e tecnologia, mais ativas nos países desenvolvidos, decorrem da preocupação com a forte concentração em poucas economias da região Ásia-Pacífico. A expansão da produção na América Latina deverá ser bastante modesta – menos da metade do crescimento previsto para o conjunto das regiões –, superando apenas a das regiões em que se encontram as economias desenvolvidas.

A Tabela 7 apresenta os principais países produtores de máquinas-ferramenta em 2016. A China é o destaque, passando de quinta maior produtora em 1997 a primeira em 2007 – sendo a sua produção em 2016 mais de três vezes maior a da Alemanha, segunda maior produtora de então. Os Estados Unidos, maiores produtores em 1997, apresentaram uma pequena queda no valor produzido, caindo para a terceira posição em 2016. O Japão, que elevou um pouco o valor produzido no período, manteve a quarta posição como produtor mundial, enquanto a Itália, quarta colocada em 1997, foi ultrapassada por outros dois asiáticos: a Coreia do Sul e a Índia.

O Brasil aparece como décimo oitavo maior produtor mundial de máquinas-ferramenta em 2016, tendo produzido US\$ 1,8 bilhões. A produção nacional cresceu em relação à mundial, chegando a 1% em 2007, mas declinando na sequência. Os prognósticos são de ligeira queda do valor produzido até 2025, mas com perda relativamente alta em relação à produção mundial, voltando à posição de 1997.

Tabela 7 – Quinze maiores produtores de máquinas-ferramenta em 2016, evolução da produção e participação na produção global, 1997, 2016, 2025

País	Produção total (US\$ mi, 2016)			Participação (%)		
	1997	2016	2025	1997	2016	2025
China	9.816	110.829	157.102	7,1	39,3	45,8
Alemanha	21.559	34.732	33.966	15,6	12,3	9,9
Estados Unidos	35.851	32.981	32.375	25,9	11,7	9,4
Japão	18.288	21.437	18.285	13,2	7,6	5,3
Coreia do Sul	3.768	11.948	13.272	2,7	4,2	3,9
Índia	1.145	9.544	15.188	0,8	3,4	4,4
Itália	10.783	9.294	9.568	7,8	3,3	2,8
Taiwan	4.642	7.335	8.114	3,4	2,6	2,4
Canadá	2.753	4.359	5.128	2	1,5	1,5
Suíça	3.926	3.907	4.247	2,8	1,4	1,2
Singapura	881	3.233	6.848	0,6	1,1	2
Suécia	1.852	2.472	2.659	1,3	0,9	0,8
França	2.899	2.314	2.248	2,1	0,8	0,7
Áustria	954	2.175	3.053	0,7	0,8	0,9
Turquia	827	2.146	2.816	0,6	0,8	0,8

Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

A China aparece como a maior produtora em todos os segmentos. A importância da produção de ferramentas elétricas portáteis no país diminuiu com o tempo, já que o crescimento de máquinas-ferramenta para metais e outras máquinas-ferramenta foi muito superior. A Índia deu um salto na produção de ferramentas elétricas portáteis, saindo de uma posição desprezível para a de segundo maior produtor. O Japão, segundo maior produtor em 1997, apresentou forte redução em ferramentas elétricas portáteis. Nas Américas, observou-se o importante recuo da produção de ferramentas elétricas portáteis nos Estados Unidos e o avanço significativo de México e Brasil.

A produção de máquinas-ferramenta para metais cresceu em todos os grandes produtores, à exceção do Canadá. O Brasil produziu apenas US\$ 443 milhões dessas máquinas em 2016, não aparecendo como um produtor mundial relevante. Entre as outras máquinas-ferramenta, o Brasil apareceu como o 10º maior produtor em 2016 e seu valor produzido apresentou um crescimento de 337,7% entre 1997 e 2016 – sendo superado apenas pela China.

O *site Research in China* (2016)⁹ afirma que o percentual de máquinas-ferramenta CNC produzidas no mundo é de 60% em média. Na Alemanha, nos Estados Unidos, no Japão e na Coreia do Sul, esse percentual chega a 85% – o Japão apresenta 90%, o percentual mais elevado. Na China, essa proporção é de 30%. O desafio chinês encontra-se em chegar ao percentual dos países desenvolvidos. Os incentivos à expansão da produção desses bens

9. Fonte: <https://pt.scribd.com/document/344578971/Global-and-China-CNC-Machine-Tool-Report>.

vêm, do lado da demanda, da expansão da produção de *smartphones* e da indústria aeroespacial do país. Do lado da oferta, derivam da prioridade que o programa governamental Made in China 2025 confere às máquinas-ferramenta CNC como uma das estratégias fundamentais para o aprofundamento da modernização da indústria local (Indústria 4.0).

Sua meta seria chegar a 40% das máquinas-ferramenta produzidas com CNC em 2018 e 60% em 2025. A ambição chinesa também engloba o desenvolvimento doméstico do próprio sistema de controle numérico computadorizado¹⁰ e de outros componentes sofisticados – área hoje dominada tecnologicamente pelas empresas Fanuc, Siemens, Mitsubishi e DMG¹¹.

Uma característica estrutural do setor é a presença de empresas de pequeno porte, além dos grandes fabricantes. A escala produtiva diverge devido à variedade de produtos oferecidos. Empresas que fabricam produtos customizados, de alto valor agregado, não necessariamente são grandes, enquanto empresas especializadas em produtos padronizados – como as que produzem ferramentas elétricas de consumo doméstico, ou mesmo de uso industrial, mas sem uma especificação técnica particular, por exemplo – podem apresentar elevados ganhos de escala, com boa parte da produção concentrada em grandes unidades.

Em todos os países, há uma parcela significativa de empresas do setor com número reduzido de empregados. Esse percentual é extremamente alto na Índia (99,8%), na Coreia do Sul (92,4%) e no Japão (91,5%). Em termos de faturamento, essa observação se inverte. Na maior parte dos países, existem poucas empresas com um número grande de empregados, mas são elas as responsáveis pela maior parte do faturamento. Isso pode ser observado de forma mais acentuada, em 2016, na Alemanha, onde as empresas com 250 empregados ou mais detiveram 55% do faturamento setorial, e nos Estados Unidos, onde as empresas de mais de 500 empregados foram responsáveis por 46%.

No Japão e na China, a maior parte desse faturamento foi gerada por empresas de 50 a 299 empregados (45% e 43%, respectivamente). Já a Índia concentrou a maior parcela do faturamento nas empresas de 20 a 99 empregados, enquanto a Coreia do Sul, muito diferente dos demais países, apresentou a maior parcela do faturamento (25%) nas empresas de zero a nove empregados.

O setor no Brasil apresenta um perfil semelhante ao dos Estados Unidos: uma proporção não tão alta de pequenas empresas. Enquanto nos EUA as empresas de até 19 empregados foram responsáveis por 81,7% do total, no Brasil, por 84%. Além disso, os dois países têm em comum uma concentração importante do faturamento nas maiores empresas: nos EUA, as de 100 empregados ou mais geraram 63,5% do faturamento em 2016, enquanto, no Brasil, as de 50 ou mais empregados geraram 72,5%.

10. A esse respeito, é bom lembrar que as impressoras 3D – em alguns casos uma tecnologia alternativa, em outros complementar ao trabalho das máquinas-ferramenta – também fazem uso do CNC. <http://www.protoprimus.com.br/maquinas-cnc-historia-comando-numerico-computadorizado>.

11. As empresas chinesas que desenvolveriam CNC ainda pouco modernos são a Wuhan Huazhong Numerical Control, a GSK, a Shenyang Machine Tool e a Dalian.

A despeito da forte presença de empresas de pequeno porte, as grandes transformações do setor são lideradas pelos grandes fabricantes, que na sua maioria assumiram o perfil de empresas de atuação global, com ênfase no desenvolvimento tecnológico.

A maior empresa do setor de máquinas-ferramenta presente no mercado chinês é japonesa, produtora de ferramentas elétricas portáteis. As demais são empresas chinesas, das quais duas são também produtoras de ferramentas elétricas portáteis. As outras duas, ambas estabelecidas nos anos 1990, produzem máquinas-ferramenta para metais e outras máquinas-ferramenta. A Shenyang Machine Tool faz máquinas-ferramenta tradicionais, como tornos, fresadoras, centros de usinagem etc., e seu grande desafio é aperfeiçoar os CNC de seus equipamentos – para o que conta com apoio governamental para pesquisa e desenvolvimento, estabelece parcerias e faz aquisições. A Han's Laser Technology é uma empresa pública que explora a tecnologia a laser e tem o porte das grandes empresas globais, mas pouco se sabe sobre suas estratégias. Aparentemente sua expansão vem especialmente das vendas domésticas, mas ela busca o avanço tecnológico mais célere em aquisições no exterior.

Na Alemanha, todas as grandes empresas listadas são de capital originariamente local, estabelecidas entre o século XIX e o início do século XX, e são competitivas internacionalmente. Com exceção da Stihl AG & Co, que produz ferramentas elétricas portáteis, as demais são produtoras de máquinas-ferramenta para metais e outras máquinas-ferramenta. Os destaques ficam para a TRUMPF e a Gildemeister Ag – que, associando-se à japonesa Mori Seiki, formou a DMG MORI, que também tem crescido com outras aquisições.

O grupo DMG MORI avança na prestação de serviços de automação: incorpora sensores aos seus equipamentos, promovendo a digitalização de dados, e desenvolve equipamentos e *software* para a análise dos dados, progredindo na intercomunicação entre equipamentos e deles com a administração geral das unidades fabris. Suas inovações preveem melhorias na manutenção preditiva, no processo produtivo e na rastreabilidade dos insumos/produtos, gerando documentação completa dos processos. Há ainda, segundo a empresa, a preocupação com o processamento de novos materiais, como fibra de carbono e materiais cerâmicos.

No campo da manufatura aditiva, o grupo tem adquirido empresas já estabelecidas e pode incorporar ao seu portfólio de produtos máquinas especializadas em manufatura aditiva, híbridas (soluções integradas de *software* para manufatura aditiva) ou mesmo sistemas de produção compostos por equipamentos de diferentes tecnologias. Junto aos serviços sofisticados, a empresa se preocupa em elevar sua participação nos serviços de manutenção, prevendo atualização de *software* e reequipamento dos produtos mais antigos. Também no campo mais tradicional, a DMG desenvolveu uma *joint venture* com a chinesa Shenyang (estabelecida em 2011) em que a última se beneficiava do avanço na produção de CNC e a primeira, do melhor aproveitamento do mercado chinês.

O grupo TRUMPF produz uma série de máquinas e equipamentos, mas se destaca especialmente na tecnologia a laser. Produz, inclusive, sensores agregados aos equipamentos para desenvolver o produto SmartFactory, que envolve a consultoria em *software*. Seu processo de crescimento envolve, como o da DMG, altos investimentos em pesquisa e desenvolvimento, fusões e aquisições, além da fundação de um banco para financiar clientes.

Tais medidas visam não apenas a busca de ativos tecnológicos, mas também a penetração da TRUMPF em mercados tradicionais, como foi o caso da aquisição da maior parte das ações da chinesa Jiangsu Jinfangyuan CNC Machine Company Ltd. (JFY). Chama também atenção a formação de uma *joint venture* com a maior fabricante de laser na Itália, a SISMA. Juntas, teriam o intuito de produzir equipamentos de manufatura aditiva de elementos metálicos em larga escala.

Os demais países de destaque e suas empresas apresentam perfis bastante diversos em termos de produtos, tamanho e modelo de negócios. Boa parte deles compartilha, porém, a importância das empresas de capital local e a origem no tempo entre os séculos XIX e XX, como pode ser observado no Quadro 1 a seguir.

Quadro 1 – Terceiro, quarto, quinto e sexto produtores mundiais de máquinas-ferramenta, suas principais empresas e perfis

País	Principais empresas	Perfil
Estados Unidos	Robert Bosch Tools Corp., Black & Decker Inc., Kennametal, SPX, Lincoln Electric.	Grandes corporações internacionais, de fundação nacional nos séculos XIX e XX (exceto Robert Bosch, alemã). Duas primeiras se destacam em ferramentas elétricas portáteis; a terceira, em ferramentas utilizadas em máquinas-ferramenta para metais e outras máquinas-ferramenta; as duas últimas, em outras máquinas-ferramenta, além de infraestrutura e soldagem.
Japão	Mori Seiki (hoje DMG Mori), Nachi-FujikoshiCorp, Disco Corp, Amada CoLtd, Toshiba Machine.	Empresas de capital japonês, produtoras de máquinas-ferramenta para metais. Destaque para venda de serviços e equipamentos, produção de robôs, sistemas de processamento nano, máquinas de processamento de semicondutores e outras de alta tecnologia – provavelmente devido à importância da produção de eletrônicos na região.
Coreia do Sul	Hwacheon Machinery, Keyang Electric Machinery Co Ltd, Simpac, YG-1.	Empresas de capital sul-coreano criadas no séc. XX. A primeira fornece máquinas-ferramenta para indústrias automobilística e eletrônica; a segunda, ferramentas elétricas; a terceira, prensas e periféricos; a última, mais internacionalizada, destaca-se nas ferramentas para máquinas-ferramenta que trabalham materiais diversos.
Índia	ESAB, D&H Sécheron Industries Pvt Ltd, Ador Welding, HMT Machine Tools, Lokesh Machines.	Pouca participação no mercado doméstico mesmo para as grandes. A primeira, única de capital estrangeiro (norte-americano), se destaca em equipamentos de corte e soldagem, como as duas seguintes. As duas últimas, em máquinas-ferramenta tradicionais e outros equipamentos (fundição, pintura e máquinas sob encomenda).

Fonte: Elaboração própria.

O Brasil é um país relevante no mercado mundial de máquinas-ferramenta, ainda que não se destaque como produtor ou como demandante. Seu mercado é suficientemente grande para atrair grandes produtores mundiais – alguns com instalação produtiva e vários com negócios no país, como apoio à importação em revendas, centros de armazenamento de peças e partes e assistência técnica. A instalação de filiais de multinacionais no mercado brasileiro foi especialmente importante nos anos 1950, durante a forte expansão da indústria automobilística no país. Além disso, existe um conjunto de produtores de capital nacional que disputa o mercado doméstico, tanto com as filiais de multinacionais aqui instaladas quanto com a importação de produtos acabados.

Em 2015, o Cadastro Central de Empresas do IBGE registrava a existência de 1.584 produtoras de máquinas-ferramenta como um todo, com 28% da ocupação concentrada nas 12 maiores do setor. Já quando contabilizadas apenas as de 30 ou mais ocupados, o número cai para 160. Isso indica que apenas 10% do total são compostos por médias e grandes empresas. No mesmo ano, a Pesquisa Industrial Anual do IBGE registrava emprego total de aproximadamente 17 mil pessoas no setor.

A produção brasileira está concentrada em centros de usinagem, máquinas de estações múltiplas e prensas – máquinas de sofisticação tecnológica média –, e em injetoras de plástico. Praticamente não existe produção doméstica de máquinas-ferramenta de usinagem não convencional, como as máquinas de alta tecnologia para corte de metal com uso de laser, eletro erosão, ultrassom e processos eletroquímicos.

O foco dos produtores locais é em geral o mercado interno, sendo as exportações utilizadas especialmente para contrabalançar as oscilações da demanda doméstica. A produção local é complementada por importações de máquinas-ferramenta mais sofisticadas e também as convencionais (sem comando numérico). Os produtores locais lideram as vendas de máquinas de intensidade tecnológica média – ainda que haja produção, venda interna e exportação de produtos sofisticados, como os centros de usinagem CNC 5 eixos – e, cada vez em menor proporção, as vendas de equipamentos mais simples. Os grandes produtores têm procurado manter produtos de padrão tecnológico relativamente avançado, inclusive por saberem ser difícil concorrer em preço com os asiáticos nos produtos *standard*. Esse segmento da indústria brasileira é o mais ameaçado. As máquinas produzidas no país incorporam elevada proporção de insumos importados.

No Brasil, a maior parte das produtoras de grande porte de máquinas-ferramenta é composta de filiais de multinacionais – como a ESAB Indústria e Comércio Ltda., a Prensas Schuler SA, a Sandvik do Brasil SA Indústria e Comércio e as alemãs Heller, Index Traub e B. Grob do Brasil, todas citadas pelo Euromonitor International. É comum que atuem como um canal de transmissão das inovações do resto do mundo para o parque produtivo brasileiro.

Entre as empresas de capital nacional, algumas, como a Romi, se notabilizam pelo dinamismo tecnológico, com exposição ao mercado internacional, enquanto outro conjunto, de pequenas empresas, se vê em dificuldades crescentes para enfrentar a concorrência com as importações de máquinas convencionais de baixo custo.

A crise de 2008 e o baixo crescimento mundial que se seguiu resultaram em forte acirramento da concorrência internacional, afetando o setor de máquinas-ferramenta. Como resultado, a concorrência em preço entre os produtores tradicionais tornou-se ainda mais acentuada, assim como a disputa por diferenciação tecnológica entre os concorrentes mais especializados.

O resultado no Brasil foi de uma ainda maior heterogeneidade e fragilidade do segmento mais tradicional, devido à já mencionada concorrência com os asiáticos. Novas tecnologias, como a manufatura aditiva e a Indústria 4.0, constituem uma oportunidade para um novo ciclo de demanda de máquinas-ferramenta no Brasil, além de criar a possibilidade de o setor agregar valor também com a prestação de serviços de manufatura avançada.

1.3 Equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia

Os principais equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia podem ser classificados em quatro grandes grupos: cabos e fios elétricos; aparelhos de distribuição e controle de energia elétrica; motores elétricos; transformadores e geradores; e acumuladores e baterias. Somados, produziram em 1997 o equivalente a 613 bilhões de dólares. Até 2016, o crescimento desse conjunto de equipamentos foi de cerca de 125%, elevando o faturamento anual do setor para 1,38 trilhões de dólares. Nesse ano, o valor da produção dos três primeiros grupos era semelhante, atingindo em média US\$ 400 bilhões cada. O grupo de acumuladores e baterias, de menor dimensão, contribuiu com aproximadamente US\$ 200 bilhões¹².

O desempenho do setor está atrelado à evolução da demanda de energia elétrica. Ao longo dos últimos ciclos de expansão da economia mundial, o consumo primário de energia cresceu sempre abaixo do PIB, indicando ganhos acumulados de eficiência. Por outro lado, o crescimento acumulado do mercado de energia elétrica no período superou o crescimento do PIB. Esse processo, que pode ser classificado como uma “eletrificação do consumo final de energia”, indica uma consistente expansão de suas mais variadas aplicações, seja por processos crescentes de urbanização em países em desenvolvimento, seja pela modernização dos padrões de consumo e produção.

12. Os dados da Euromonitor International para o setor seguem a classificação internacional ISIC e incluem um conjunto abrangente de equipamentos e produtos ligados aos setores automobilístico, baterias de uso doméstico e alguns motores industriais, dentre outros. Dessa forma, os valores acima citados servem apenas como aproximações que provavelmente superestimam o valor da produção do setor.

Essa tendência de expansão da energia elétrica como forma final de consumo deve permanecer ao longo das próximas décadas. Os avanços adicionais na busca por eficiência energética, portanto, devem contar com os equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia (GTD) como vetores fundamentais, seja na maior capacidade de conversão de energia primária, seja na redução das perdas de energia nos processos de transmissão e distribuição, seja nas inovações relativas à gestão do consumo de energia elétrica.

No mapa da energia elétrica no mundo, o mercado asiático despontou como grande locomotiva do consumo entre 1997 e 2016. Os países da região Ásia-Pacífico se tornaram gradativamente mais importantes para o total do consumo mundial, respondendo por 80% de todo o crescimento entre 2012 e 2016. Somente a China representou 45,3% da expansão global no período. Já a América do Norte e a Europa, dois grandes mercados de energia, apresentaram sucessivamente taxas de crescimento inferiores à média mundial. Parte dessa redução também pode ser atribuída às iniciativas públicas e aos investimentos privados para promover a eficiência energética.

A Ásia se destaca também na ampliação da produção de energia, com contribuições crescentes para a expansão da oferta mundial: 72,5% entre 2003 e 2011, e 80,9% entre 2012 e 2016. América Latina e Oriente Médio também apresentaram evolução importante no período. O Oriente Médio foi o segundo maior mercado regional em expansão da oferta, com uma taxa média de crescimento de 4,3% ao ano no período. Os países desenvolvidos, representados pelos blocos da Europa/Eurásia e América do Norte, como esperado, perderam vigor ao longo das décadas passadas.

Assim, a análise dos dados apresentados sobre produção e consumo de energia elétrica explicitam um intenso movimento de concentração regional, que certamente impacta a distribuição global dos investimentos em ampliação de capacidade energética. Ásia e Oriente Médio se destacam como principais vetores dessa expansão nas últimas décadas, em uma polarização que se acirra no período pós-crise – fator fundamental para a demanda por equipamentos de GTD.

As taxas de crescimento da produção de equipamentos ao longo do período acompanham o comportamento da produção de energia elétrica (Tabela 8). Os equipamentos de maior destaque, especialmente após 2003, foram os de cabos e fiose de baterias e acumuladores, com crescimento médio de 6,3% ao ano. Já o segmento de aparatos de distribuição e controle teve o desempenho de menor dinamismo. Geradores e transformadores, apesar do bom desempenho relativo durante o final dos anos 1990 e os anos 2000, perderam vigor no período mais recente, com taxa média de crescimento anual de apenas 1,5% entre 2011 e 2016.

Tabela 8 – Evolução total e por segmento da produção de equipamentos de geração, distribuição e armazenamento de energia, 1998-2016 (períodos selecionados)

	1998-2002	2003-2011	2012-2016	1998-2016
Equipamentos de geração, distribuição e armazenamento de energia	1,2%	7,0%	2,5%	3,9%
Acumuladores, células primárias e baterias	1,5%	12,1%	3,4%	6,3%
Geradores, transformadores e motores elétricos	2,3%	9,3%	1,5%	4,9%
Equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica	-0,7%	5,0%	0,8%	2,1%
Fios, cabos e condutores elétricos isolados	0,8%	12,1%	4,4%	6,3%

Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

A produção de equipamentos acompanhou a concentração regional da expansão da oferta de energia (Tabela 9). A Ásia, que representava pouco mais de um terço dessa produção em 1997, chegou a 2016 com 65,7% – quase 2/3 do total. Esse crescimento resulta da expansão da indústria chinesa, que passou a responder por expressivos 45,6% da produção total, mas também pelo crescimento da Coreia do Sul, que quase triplicou sua produção e atingiu 3,4% do mercado.

Tabela 9 – Produção total de equipamentos GTD⁽¹⁾ e participação no total mundial para os países com mais de 1% da produção mundial, 1997, 2016

	1997		2016		
	US\$ bilhões de 2016	% do total	US\$ bilhões de 2016	% do total	
China	70,1	7,4%	887,9	45,6%	▲
Japão	171,6	18,2%	180,6	9,3%	▼
Estados Unidos	189,7	20,1%	157,5	8,1%	▼
Alemanha	103,2	11,0%	120,2	6,2%	▼
Coreia do Sul	23,2	2,5%	65,8	3,4%	▲
Itália	40,6	4,3%	44,6	2,3%	▼
Índia	22,0	2,3%	40,7	2,1%	▼
França	32,7	3,5%	27,2	1,4%	▼
México	15,7	1,7%	26,1	1,3%	▼
Indonésia	n.d	0,0%	24,8	1,3%	-
Reino Unido	26,8	2,8%	18,5	1,0%	▼
Brasil	10,0	1,1%	17,5	0,9%	▼
Outros	236,4	25,1%	335,4	17,2%	▼
Total	942,1	100%	1.946,8	100%	
Ásia (Pacífico)	334,4	35,5%	1.278,4	65,7%	

Notas: (1) Agrupamento Euromonitor: "Equipamentos de geração, distribuição e armazenamento de energia".
Fonte: Elaboração própria com dados da Euromonitor International.

Nota-se que a produção de GTD na grande maioria dos países destacados, exceto EUA e França, cresceu entre 1997 e 2016, com destaque para o sucesso absoluto de países asiáticos como Indonésia, China, Coreia e Índia. O crescimento modesto de economias desenvolvidas europeias (Itália e Alemanha) teve no ciclo recente seu pior momento, com quedas superiores a 1% ao ano. O Japão, apesar da taxa média de crescimento positiva e da expansão ao longo do último ciclo, não acompanha o desempenho de seus vizinhos asiáticos. Apesar desse desempenho medíocre, conseguiu se manter como grande produtor, com 9% do total global.

Brasil e México apresentaram taxas similares de crescimento, mas trajetórias distintas. O Brasil cresceu vigorosamente nos dois primeiros ciclos e expandiu sua participação na indústria, mas reduziu posteriormente sua produção em 6,9% ao ano entre 2012 e 2016. Já o México iniciou sua trajetória com crescimento próximo a zero, na segunda metade dos anos 1990, e ascendeu para uma taxa aproximada de 3,1% ao ano entre 2003 e 2016.

Por fim, EUA e França são os únicos a apresentar taxas cadentes. A participação de ambos recuou no auge do ciclo expansivo dos anos 2000, embora os EUA cresçam modestamente (0,2% ao ano) após 2012.

A pujança da produção de equipamentos pode ser constatada em cada um dos principais grupos de produtos do setor. Na produção de acumuladores de energia e baterias, a participação da China chega a 55% da produção global. Somada a participação de países vizinhos, a região Ásia-Pacífico chega perto de 80% do total de 2016. Na produção de geradores, transformadores e motores elétricos no mesmo ano, a China teve participação de 49%, enquanto a região Ásia-Pacífico representava 66%.

No grupo de fios e cabos elétricos, a produção chinesa aumentou de pouco mais de 17 bilhões de dólares em 1997 para 270 bilhões em 2016. Desse modo, o país passou a contribuir com 64% do total produzido pelo setor, enquanto a Ásia-Pacífico representou 78%. Finalmente, na categoria dos aparatos de distribuição e controle de energia elétrica, a concentração geográfica da produção é relativamente menor. Em 2016, a China concentrou 31% da produção mundial, enquanto a região Ásia-Pacífico, 55%.

Outra transformação no mapa mundial da energia foi a mudança na composição das fontes primárias de energia elétrica. Em primeiro lugar está a pressão pela substituição do petróleo, seja como consequência de iniciativas internacionais e nacionais – em geral com metas ambientais e de promoção do uso de fontes renováveis –, seja por razões econômicas, em um cenário de preços historicamente elevados entre 2003 e 2014. Em segundo lugar, em parte como consequência da própria busca por alternativas energéticas, está o desenvolvimento tecnológico e a redução dos custos de fontes alternativas, especialmente eólica e solar.

Ao longo dos anos 2000, caiu vigorosamente a participação da energia nuclear e de termelétricas alimentadas por derivados de petróleo. A despeito das políticas para avanço das fontes renováveis, a eficiência energética da produção em usinas a carvão – associada ao acesso facilitado na China – proporcionou um crescimento importante dessa fonte. Cabe ressaltar, ademais, que o crescimento efetivo do consumo de energia elétrica entre 2000 e 2015 foi significativamente superior ao projetado no início da década passada. As estimativas do *Energy Information Administration* (EIA) dos EUA indicavam crescimento de 28% da oferta de energia elétrica entre 2000 e 2015 (INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK, 2003). O resultado efetivo superou significativamente essa perspectiva, atingindo 56,1% no período.

A segunda fonte que ganhou importância é o gás natural. Contribuíram para isso as inovações dos anos 1990, como a utilização de ciclo combinado, a modularização de plantas, a nova infraestrutura de transporte em gasodutos e GNL, assim como seu impacto ambiental relativamente menor que o de outros combustíveis não renováveis. O setor energético recebeu um volume importante de investimentos ao longo dos anos 1990 e na primeira década dos anos 2010, quando a descoberta do *shale gas* nos EUA impulsionou um desenvolvimento adicional.

Esse comportamento do mercado e da produção industrial, contudo, deve apresentar importantes transformações no futuro próximo, duas das quais merecem destaque. A primeira é a vigorosa ampliação das fontes renováveis, especialmente solar e eólica, que apresentaram rápidos ganhos de eficiência e competitividade em relação a outras fontes nos últimos anos. A segunda é a transformação radical da estrutura de funcionamento do setor, que deve se manifestar, por um lado, na organização e no papel dos agentes envolvidos (produtores, distribuidores e consumidores) e, por outro, no surgimento de oportunidades de valorização, modelos de negócio ou mesmo novos atores relevantes a partir da digitalização e integração de redes inteligentes (*smartgrids*).

No que tange às mudanças no perfil da matriz energética, a energia renovável deverá elevar sua participação rapidamente ao longo dos próximos anos. Segundo as estimativas da *International Energy Agency*, a participação atual tem oscilado cerca de 20% ao longo da última década, devendo atingir um patamar de cerca de 30% em meados do século. Esse processo é resultado do investimento crescente ao longo dos últimos dez anos, ainda que seus efeitos sobre a participação na matriz elétrica tenham sido pequenos até meados da presente década.

Além disso, o conjunto de incentivos para a produção, instalação e consumo de novas fontes de energia – especialmente subsídios tarifários (*feed-in tariffs* – FIT) e leilões específicos – geraram efeitos positivos sobre a capacidade de expansão futura. Tais efeitos englobam não apenas unidades geradoras centralizadas, mas também mini e micro aplicações para regiões isoladas ou para unidades do setor produtivo e residencial.

Quase todas as fontes de energia renováveis obtiveram ganhos de eficiência e apresentaram maior competitividade nos últimos anos. Contudo, a evolução esperada para os segmentos de energia solar e eólica se destaca diante das demais alternativas (INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK, 2016). A eólica deve contribuir com cerca de 35% da expansão renovável projetada, seguida de perto pela contribuição da hidroeletricidade, cuja contribuição esperada é de 30,4%. A energia solar, mesmo contribuindo apenas com cerca de 16% dessa expansão, é o segmento energético mais dinâmico nas estimativas do Departamento de Energia dos EUA (INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK, 2016), com expectativas de que aumente em mais de dez vezes até 2040.

No Brasil, o setor de equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia apresenta histórico destacável dentro da indústria de bens de capital. As peculiaridades importantes da matriz elétrica brasileira – especialmente a presença elevada de geração hidrelétrica – criaram condições para uma demanda diferenciada de equipamentos no país. A proporção extraordinária de usinas hidrelétricas¹³, bem como a magnitude dos projetos de geração construídos ao longo do nosso período de crescimento econômico entre 1950 e 1980, foram responsáveis por atrair investimentos de grandes produtores globais e estratégias de desenvolvimento tecnológico local. As especificidades do sistema elétrico local, assim como as capacitações adquiridas durante os ciclos anteriores na cadeia de fornecimento, tornaram possível que o setor enfrentasse a abertura comercial dos anos 1990.

Entre 2000 e 2016, a ampliação da capacidade instalada de geração de energia atingiu sua maior taxa anual média desde os anos 1980. A expansão viabilizou a retomada dos investimentos dos fabricantes de equipamentos de geração, transmissão e distribuição de energia. Houve renovação de estratégias, investimentos em diversificação e/ou modernização da produção de grupos como Siemens, General Electric, ABB, Schneider, Voith, mas também de grupos nacionais como a WEG. Na segunda metade dos anos 2000, houve modernização e introdução de novas linhas de produtos, especialmente nas empresas tradicionalmente ligadas ao setor hidrelétrico: linhas de produção de geradores a vapor, equipamentos para etapas de transmissão, distribuição e controle. Alguns desses segmentos apresentaram, inclusive, padrões de exportação pouco convencionais para a indústria nacional, com destinos como Europa e EUA.

Os dados da Pesquisa Industrial Anual do IBGE mostram que, em 2015, atuavam no setor 388 empresas com mais de 30 empregados, com nível de emprego agregado de aproximadamente 101 mil pessoas. Embora deficitário, o setor apresenta bom desempenho exportador, principalmente no segmento de geradores, transformadores e equipamentos ligados de distribuição e controle. Vale lembrar que o país possui capacitação para produção em tecnologias importantes para sistemas de corrente

13. A participação de usinas hidrelétricas na matriz elétrica global em 2009 era de cerca de 16%. No mesmo ano, no Brasil, a participação dessa fonte no total da capacidade de geração foi de aproximadamente 74%. Em relação à energia hidrelétrica gerada, o mercado brasileiro era o segundo maior na virada para a década de 2010, superado apenas pelo volume ofertado no sistema chinês.

contínua em alta tensão (CCAT) e, ao longo dos últimos dez anos, os exportou para diversos projetos em todo o mundo. As exportações para os Estados Unidos e para a Alemanha indicam que as filiais locais de empresas desses países possuem capacidades técnicas importantes e podem assumir funções corporativas globais, ainda que os valores sejam pouco expressivos e correspondam a coeficientes de exportação relativamente baixos.

Uma das mudanças recentes mais relevantes é o crescimento de novas fontes de energia durante a década de 2010, polarizando um novo vetor de investimentos em equipamentos de geração. Em 2016, a participação da geração eólica atingiu 7% do total da capacidade instalada, com crescimento concentrado nos últimos anos da série.

Amparados por leilões para o setor e pelo suporte de políticas para avanço do segmento de equipamentos no Brasil, as grandes empresas do setor instalaram unidades produtivas e/ou diversificaram sua atuação no país. Dentre elas destacam-se Vestas, GE, Acciona/Nordex, Alstom, Wobben/Enercon e Gamesa. O provável ingresso da chinesa Goldwind completaria a presença das maiores empresas globais do setor no país, que em 2015 possuía a sétima maior capacidade instalada, atrás apenas de EUA, China, Alemanha, Canadá, Índia e Reino Unido.

Além dos grandes grupos globais, duas empresas nacionais possuem importantes estratégias no setor. A WEG é a mais recente, tendo iniciado a produção de geradores e equipamentos associados. A Tecsis, por seu lado, é uma grande produtora de pás eólicas, com vendas no mercado nacional e estrangeiro. É a principal responsável por tornar o Brasil um dos maiores exportadores desse equipamento em todo o mundo.

As mudanças na matriz energética se refletiram também na pauta de importações, com o surgimento de novos fornecedores estrangeiros, como a China e a Coreia, responsáveis por um terço de todos os produtos importados no país em 2016. A pauta de importações nesse momento apresentou participação crescente de produtos ligados ao segmento de transmissão e distribuição, mas também aos avanços recentes nas instalações de placas solares. A presença de baterias de íon-lítio, ainda que provavelmente misture aplicações de outros segmentos, indica uma tendência importante para os próximos anos com o esperado avanço da tecnologia solar.

1.4 Bens elétricos seriados de uso industrial

O setor de bens elétricos seriados de uso industrial reúne uma grande variedade de equipamentos e componentes produzidos em escala para uso na movimentação de materiais, ferramentas, peças e produtos em instalações industriais, mas também em atividades como extração de petróleo e saneamento, entre outras. A análise desse

mercado mundial é dificultada pela ausência de uma delimitação setorial que corresponda exatamente a esses bens. Na nomenclatura do Euromonitor International, há três grupos de produtos que poderiam retratar em conjunto o setor: 1) o que reúne “bombas e compressores”, mas que também agrega dados dos produtores de torneiras e válvulas; 2) o dos “motores elétricos e geradores”, que estão agregados com o de “transformadores”; e 3) os “equipamentos elétricos para motores e veículos”. Assim, os dados são bastante imprecisos, mas oferecem algum suporte para a análise qualitativa – mais relevante neste caso.

A demanda e a produção mundial de bens elétricos seriados de uso industrial concentrou-se na região Ásia-Pacífico, que passou a representar 53% da demanda e 58% da produção mundial em 2016. Segundo as projeções da Euromonitor International, a região deve alcançar 62,6% da produção mundial em 2025.

Tabela 10 – Regiões e sua participação na demanda e na produção mundial de bens elétricos seriados de uso industrial, 1997, 2016, 2025

	Participação na demanda mundial (%)		Participação na produção mundial (%)		
	1997	2016	1997	2016	2025
Ásia-Pacífico	29,2	52,9	30,6	57,8	62,6
América do Norte	28,8	16,6	28,5	12,4	9,2
Europa Ocidental	28,5	18,3	29,6	19,8	17,5
Europa Oriental	3,4	3,8	3	3,8	4,7
América Latina	5,4	4,1	4,8	3,7	3,6
Outros	4,6	4,4	3,5	2,5	2,4

Fonte: Elaboração própria, com dados do Euromonitor International.

A China, que detinha 7% da produção mundial em 1997, chegou a 38,7% em 2016 e projeta-se que chegará a 44% em 2025. Os Estados Unidos, maiores produtores mundiais em 1997, apresentaram queda do valor produzido – já deflacionado –, o que também ocorreu com o Canadá. Isso explica o recuo da produção na América do Norte como um todo, mas igualmente houve queda para França, Reino Unido e Suíça. Na Europa Ocidental, a queda da produção dos países citados foi compensada em parte pela elevação relativamente expressiva na Alemanha e na Dinamarca, e mais modesta na Itália e na Espanha. Na América Latina, houve crescimento da produção no México e no Brasil. O fato é que qualquer crescimento da produção nos demais países foi inteiramente ofuscado pelo avanço chinês.

Tabela 11 – Quinze maiores produtores de bens elétricos seriados de uso industrial, produção e participação na produção mundial, 1997, 2016, 2025

Países	Produção (US\$ mi, 2016)			Participação (%)		
	1997	2016	2025	1997	2016	2025
China	42.891	451.383	619.108	7	38,7	44
Estados Unidos	160.465	134.229	119.290	26,3	11,5	8,5
Japão	102.258	122.800	122.438	16,8	10,5	8,7
Alemanha	45.005	74.489	76.174	7,4	6,4	5,4
Itália	34.821	38.363	37.348	5,7	3,3	2,7
Coreia do Sul	13.572	37.281	37.642	2,2	3,2	2,7
Índia	10.102	23.184	40.518	1,7	2	2,9
França	21.435	20.053	19.846	3,5	1,7	1,4
México	9.934	17.518	19.763	1,6	1,5	1,4
Reino Unido	21.160	15.759	13.948	3,5	1,4	1
Brasil	7.451	13.783	15.809	1,2	1,2	1,1
Espanha	10.071	12.851	15.112	1,7	1,1	1,1
Suíça	13.498	11.925	12.616	2,2	1	0,9
Canadá	12.511	11.918	12.492	2,1	1	0,9
Dinamarca	4.591	11.191	12.443	0,8	1	0,9

Fonte: Elaboração própria, com dados do Euromonitor International.

A liderança chinesa é incontestável na produção da maioria dos bens. Em 2016 foi responsável por 41% da produção de bombas, compressores, torneiras e válvulas, com pouco mais que o dobro do segundo colocado, os Estados Unidos. Ou seja, a alcunha de “fábrica do mundo” é plenamente cabível para a produção chinesa de bens elétricos seriados de uso industrial. Essa posição foi garantida por uma progressão exuberante na produção de motores elétricos, geradores e transformadores, e de bombas, compressores, torneiras e válvulas entre 1997 e 2016, mas houve uma elevação mais contida na produção de equipamentos elétricos para motores e veículos.

Na produção de bombas, compressores, torneiras e válvulas, a elevação da produção também foi grande na Índia e na Coreia do Sul. Na produção de motores elétricos, geradores e transformadores, os destaques de elevação da produção, além da China, são Dinamarca, Coreia do Sul e Espanha. Já na produção de equipamentos elétricos para motores e veículos, são notáveis a Coreia do Sul e a Alemanha.

O Brasil aparece entre os maiores produtores no agregado equipamentos elétricos para motores e veículos. Os principais produtores locais, segundo o Euromonitor International, são a Magneti Marelli (22,8% do mercado), a Denso do Brasil (17,1%),

a Delphi (3,5%) e a Cummins (2,9%). Na produção de motores elétricos, geradores e transformadores, o Brasil não é listado como grande produtor mundial. No entanto, a brasileira WEG Indústrias S.A., uma empresa de capital local que é relevante em termos mundiais, com plantas produtivas fora do país, deteve nesse segmento 25,9% do mercado brasileiro em 2016.

Observando os dados da Pesquisa Industrial Anual do IBGE, o setor compreendia em 2015 cerca de 500 empresas com 30 ou mais empregados, com um emprego total de 115 mil pessoas. O setor como um todo é deficitário, com forte importação de partes e peças. Nas exportações, destacam-se os compressores e, em menor escala, os motores elétricos. A atuação internacional da Embraco e da WEG são vetores importantes da inserção da produção doméstica no mercado externo.



2 OS *CLUSTERS* TECNOLÓGICOS RELEVANTES

2.1 Identificação das tecnologias relevantes

O *Cluster* de tecnologias que articulam a Produção Inteligente e Conectada (Produção Inteligente) já apresenta impactos disruptivos no sistema produtivo de bens de capital. É possível constatar atualmente sinais de mudanças nas condições da concorrência na produção de máquinas e equipamentos decorrentes da evolução da tecnologia de manufatura avançada. As estruturas de mercado e os modelos de negócio no sistema produtivo começam a refletir o impacto transformador das novas tecnologias.

A introdução de sistemas ciberfísicos de interconexão, digitalização, processamento e otimização do desenvolvimento e da fabricação de produtos, com crescente utilização de Inteligência Artificial, constitui uma inovação de processo importante na atividade econômica e representa, para os fabricantes de bens de capital, um novo mercado de grande potencial. As máquinas são conectadas e acessíveis enquanto objetos na rede, podendo dispor de dados em tempo real. Esses dados são passíveis de exploração, análise e intervenção por meio da própria rede. Ademais, as máquinas poderão guardar documentos e informações sobre si mesmas fora do seu corpo físico, implicando uma representação virtual com identificadores próprios, bem como habilitação para processos cognitivos (*machine learning*). A Produção Inteligente deve permitir, assim, um novo patamar de interação entre os mundos físico e virtual.

Além disso, propicia o surgimento de novos modelos de negócios, a otimização do ciclo de vida dos produtos, os sistemas de manufatura reconfiguráveis e a integração vertical de atuadores e sensores até os sistemas de planejamento de recursos (*enterprise resource planning* – ERP). Dessa forma, a geração de valor na cadeia produtiva não se dá apenas na etapa de fabricação, mas principalmente nas etapas a montante e a jusante da produção. As atividades a montante incluem atividades de pesquisa e desenvolvimento (P&D), de cadeia de suprimentos e de planejamento de processos. Já as atividades a jusante incluem a distribuição, a manutenção e o monitoramento do ciclo de vida do produto.

Para os fabricantes de bens de capital, trata-se de uma inovação de produto intensiva em infraestruturas de comunicação, aliada à inteligência artificial. Requer capacidade para integrar: (1) tecnologias de equipamentos e processos industriais, como robótica avançada ou manufatura aditiva e tecnologias associadas, como *big data*; (2) blocos da cadeia produtiva em que essas tecnologias são aplicadas, inclusive a produção em si (dentro da fábrica); e (3) arquitetura da Produção Inteligente e Conectada que integra todos os elos da cadeia produtiva. Os avanços arquiteturais tornam-se assim cada vez mais complexos, incertos e disruptivos, pois a forma integrada de organização das tecnologias e blocos é crucial.

As competências necessárias ultrapassam o escopo das tecnologias tradicionalmente dominadas pelos fabricantes de equipamentos mecânicos e elétricos. Representam um salto significativo em relação aos desafios colocados pela automação microeletrônica dos anos 1980, quando se destacaram ferramentas de desenho, manufatura e engenharia assistidos por computador (*computer-aided design* – CAD, *manufacturing* – CAM e *engineering* – CAE), além dos sistemas flexíveis de manufatura (*flexible manufacturing system* – FMS).

A demanda por novas competências tem levado os produtores de bens de capital a articular redes de cooperação para o desenvolvimento conjunto, estabelecer novas alianças com empresas de outros setores – notadamente do sistema TIC –, assim como tentar capturar novos ativos tecnológicos por meio de fusões, aquisições ou investimentos internacionais. Trata-se de iniciativas que visam tanto a aproveitar as novas oportunidades quanto a defender as atuais posições das empresas nos mercados. Paralelamente geram-se oportunidades para o surgimento de novos atores (*startups*) e também para a entrada de novos concorrentes.

As empresas líderes da tecnologia digital, como Google, Amazon, Microsoft, Apple e IBM, possuem competências e recursos em escala suficiente para capturar novos mercados. Constituem, desta forma, potenciais parceiros e potenciais concorrentes dos fabricantes tradicionais de bens de capital mecânicos e elétricos. A IBM, por exemplo, elegeu o agronegócio como uma área estratégica para sua operação em alguns países, como o Brasil (MELO, 2017).

Em 2017, a empresa promoveu o lançamento da IBM Agritech, uma plataforma aberta que, municiada por informações dispersas, provenientes de diferentes empresas ligadas à agricultura, consolida dados, tecnologias e soluções para resolver problemas do agronegócio. Por meio da IBM Agritech, podem ser obtidas informações sobre o tempo e recomendações de plantio, adubação e irrigação, colheita e transporte. Baseada na computação em nuvem, ela une tecnologias utilizadas pela IBM, como computação cognitiva, IoT e dados meteorológicos da Weather Company. A empresa meteorológica, adquirida em 2015, passou a trabalhar associada às divisões de Inteligência Artificial (da plataforma Watson) e de *Internet of Things* da IBM. Nesse projeto específico, destaca-se a parceria estratégica entre a IBM e a Agrottools, “empresa brasileira com dez anos de mercado e responsável por um dos maiores bancos de dados territoriais do agronegócio tropical” (MELO, 2017).

Atualmente, a introdução e os impactos da Produção Inteligente tendem a ocorrer de forma incremental, com foco em etapas específicas da cadeia de produção. Não se tem conhecimento de arranjos empresariais – no sentido de empresas interligadas com fornecedores e clientes – que utilizem sistemas de Produção Inteligente e Conectada no limite da técnica. São pouquíssimos os casos de instalações fabris que as utilizam em plenitude. Há, entretanto, iniciativas-piloto que demonstram a viabilidade de arranjos organizacionais radicalmente inovadores.

Os sistemas Produção Inteligente devem aprofundar, com o tempo e com sua ampla difusão, transformações radicais tanto nos setores usuários quanto nos fabricantes de equipamentos. Isso se refletirá nas estruturas de mercado e nas estratégias da concorrência no sistema de bens de capital. A evolução convergente da Inteligência Artificial, da IoT e das Redes devem potencializar o impacto disruptivo da Produção Inteligente até 2027. Inovações em Materiais Avançados, Nanotecnologia e Armazenamento de Energia também devem alterar drasticamente o *status quo* do sistema na próxima década.

A Produção Inteligente impacta de forma diferente todos os focos setoriais analisados:

- No setor de máquinas agrícolas, proporciona um salto radical na mecanização da produção pela utilização de veículos autônomos e conectados (tratores, colheitadeiras, semeadoras etc.) ou de sistemas de monitoramento remoto das condições do solo e da lavoura. Viabiliza também a gestão integrada da cadeia de valor a montante e a jusante da produção.
- No setor de máquinas-ferramenta, amplia a capacidade de virtualização da produção para além da manufatura aditiva, abrangendo todos os tipos de processos e de máquinas.
- No setor de equipamentos para geração, transmissão e distribuição de energia (GTD), interage com implantação das redes inteligentes de energia (*smart grid*) e com o uso crescente das fontes renováveis de energia.
- No setor de bens seriados para uso industrial, a difusão da robótica avançada potencializa o uso de novos motores elétricos e de atuadores e sensores conectados.

2.2 Experiência internacional

Avanços técnicos e mercadológicos recentes alimentam expectativas bastante otimistas quanto ao ritmo de disseminação da Produção Inteligente no futuro imediato: novos desenvolvimentos em IA, aumento da capacidade de processamento computacional, aumento da velocidade e redução do custo dos serviços de rede, redução do custo e rápida difusão do uso de máquinas para manufatura aditiva industrial, redução do custo operacional, expansão do mercado de robótica e queda do preço dos sensores para IoT. O otimismo é também sustentado pela percepção de que já existe um amplo mercado a ser explorado, uma vez que a Produção Inteligente pode ser introduzida em qualquer atividade produtiva com ganhos de eficiência, qualidade e flexibilidade, quer seja aplicada em várias áreas, quer somente em algumas áreas específicas de uma empresa.

A despeito da percepção otimista, ainda existem entraves à disseminação da Produção Inteligente em função de incertezas sobre o ritmo de desenvolvimento das capacidades cognitivas avançadas das máquinas, sobre os padrões tecnológicos necessários para a interoperabilidade dos equipamentos e sobre as dificuldades decorrentes da superposição de equipamentos de gerações tecnológicas diferentes, entre outras.

Atualmente existem dois modelos de referência de Produção Inteligente: o norte-americano e o alemão, conhecidos, respectivamente, como manufatura avançada e Indústria 4.0. Ambos os modelos estão alicerçados no contexto de sistemas empresariais e institucionais com diferenças marcadas.

Quadro 2 – Os modelos norte-americano e alemão para produção inteligente e conectada

Modelo norte-americano: <i>advanced manufacturing</i>	Modelo alemão: <i>Industrie 4.0</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de várias tecnologias habilitadoras – TIC, materiais, energia, de produção – que evoluem constantemente, mas que, com estímulos adequados, saltam para outro patamar evolutivo. • O Programa Nacional de Manufatura Avançada, vinculado ao Gabinete da Presidência dos Estados Unidos, recebeu um orçamento inicial de US\$ 1 bilhão para a criação de uma Rede Nacional para Inovação na Manufatura. Participam 85 empresas, 13 universidades, nove escolas superiores e 18 organizações profissionais e organizações sem fins lucrativos. O programa envolve um número expressivo de parceiros e institutos de pesquisa, sendo mais abrangente que o programa alemão. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baseado no processo de digitalização crescente da fabricação. • Parte da estratégia de tecnologia do governo alemão e se propõe a reorganizar a cadeia produtiva, conectando máquinas e pessoas nas chamadas fábricas inteligentes (<i>smartfactories</i>). • Reflete a importância do setor de manufatura, que representa um quinto do PIB do país, e está calcado no reforço da sua eficiência produtiva. • Permite que a indústria de máquinas e equipamentos alemã aumente suas exportações e a difusão dessas tecnologias em outros países.

Fonte: Elaboração própria.

O projeto manufatura avançada, dos Estados Unidos, explora a capacidade científica e tecnológica norte-americana, especialmente no desenvolvimento das TIC. Visa a revigorar a produção industrial dos Estados Unidos articulando de forma mais estreita o desenvolvimento de produtos com os processos de fabricação. Já o projeto alemão explora a reconhecida competência das empresas alemãs nas atividades de manufatura e visa a aumentar a competitividade *vis-à-vis* os concorrentes de maiores escalas e menores custos. Trata-se de iniciativas que promovem a colaboração entre parceiros públicos e privados e estabelecem padrões tecnológicos que aceleram o processo de desenvolvimento, disseminação e uso de conhecimento.

Paralelamente às iniciativas institucionais dos Estados Unidos e da Alemanha, os fabricantes de bens de capital desenvolvem estratégias próprias para se posicionar favoravelmente no campo da Produção Inteligente. As iniciativas em curso confirmam que as empresas antecipam o caráter disruptivo das inovações e conseqüentemente procuram complementar suas competências técnicas e mercadológicas para fazer frente às novas exigências da concorrência.

A John Deere, por exemplo, empresa líder no mercado mundial e brasileiro de máquinas agrícolas, tem expandido sua atuação da fabricação de equipamentos

para a otimização de máquinas e implementos agrícolas por meio da IoT, buscando tornar-se uma integradora de tecnologias para a agricultura inteligente. Oferece uma plataforma *online* móvel para conectar diversos veículos, que viabiliza o acesso remoto à localização da frota de máquinas agrícolas e permite a utilização de dados para diagnóstico de operação e manutenção de cada máquina. A empresa também oferece um pacote de serviços que permite o diagnóstico, a atualização de *software* e o suporte a operadores de máquinas. Tem estimulado desenvolvedores de *software* a utilizar suas interfaces de programação de aplicativos (*application programming interface* – API) para criar programas que possam acessar os dados gerados pela grande quantidade de máquinas conectadas da empresa. A empresa criou um centro de operações baseado na nuvem para analisar dados provenientes de centenas de milhares de tratores conectados e outros equipamentos agrícolas. Sensores incorporados nos equipamentos da empresa coletam dados sobre o solo, o desempenho da máquina e até mesmo sobre a pressão com a qual as sementes são introduzidas no solo durante o plantio. Os dados coletados são transferidos do campo para a nuvem utilizando redes móveis.

Outro exemplo é a realização de uma parceria entre a John Deere e a empresa norte-americana Telogis, especialista em telemática, fornecedora de “*software como serviço*” (*software as a service* – SaaS) que foi recentemente adquirida pela Verizon. A parceria envolve apoio ao desenvolvimento do sistema de telemática da John Deere com o intuito de conectar remotamente proprietários e gerentes a seus equipamentos, possibilitando o acompanhamento da localização, o monitoramento das atividades e, inclusive, o acompanhamento das necessidades de serviços nas máquinas e equipamentos, criando igualmente um meio rápido de realizar pedidos *online* de peças e partes necessárias.

A John Deere anunciou a compra da *startup* norte-americana de robótica Blue River Technology por US\$ 305 milhões em setembro de 2017. A *startup* constrói robôs pulverizadores para afixação em tratores. Os robôs utilizam visão computacional e tecnologia de aprendizado de máquina para identificar plantas no campo que demandem mais fertilização ou aplicação de defensivos agrícolas. Isso permite otimizar o uso dos insumos, objetivo-chave da agricultura de precisão. Os robôs, que foram usados inicialmente em plantações de algodão, verduras e vegetais especiais, podem trazer economias de até 90% ao produtor rural no volume de químicos que aplica no solo, se comparado a outros métodos tradicionais (BARROS, 2017).

O desenvolvimento da IoT tem afetado igualmente os processos produtivos das principais fabricantes de máquinas agrícolas. No que se refere à implementação da IoT industrial em suas operações produtivas, a John Deere contratou a empresa Telit, fornecedora de soluções de IoT industrial, para implementar a plataforma *device* WISE. A plataforma da Telit viabilizava a coleta e a análise de informações do processo de manufatura da John Deere em tempo real, com o objetivo de aumentar a eficiência ao longo da cadeia de fornecimento e produção. A plataforma permite conectar

uma ampla variedade de operações produtivas complexas e de ativos produtivos de diferentes fornecedores com distintos protocolos e interfaces ao sistema de gestão empresarial da John Deere, proporcionando flexibilidade e otimização da manufatura sem a necessidade de programação customizada (KUMBHAR, 2016).

Ainda no setor de máquinas agrícolas, a CNH Industrial, também com forte presença no Brasil por meio das marcas Case IH e New Holland Agriculture, desenvolveu um conceito de trator sem motorista em parceria com a norte-americana Autonomous Solutions Incorporated (ASI), que fornece tecnologia de automação independente para aperfeiçoamento e modernização (*retrofit*) de máquinas. A Case IH apresentou o trator-conceito Magnum na Feira Internacional de Tecnologia Agrícola (Agrishow) realizada em Ribeirão Preto (SP), no Brasil, em maio de 2017 (MELO, 2017). O veículo é capaz de perceber, em sua trajetória, os obstáculos parados ou em movimento mediante um radar e câmeras de vídeo a bordo, e pode tomar a decisão de parar até que um operador, avisado por alertas sonoros e visuais no *smartphone* ou *tablet*, consiga programar um novo percurso. A New Holland Agriculture também desenvolveu seu trator autônomo conceitual, que preserva a cabine do condutor, podendo ser conduzido por motorista ou funcionar de forma independente por meio de controle em tempo real de dados e monitoramento remoto.

A AGCO é uma das líderes mundiais no desenvolvimento, fabricação e distribuição de máquinas agrícolas, equipamentos de fenação e forragem, implementos e equipamentos de preparo do solo, instalações para armazenamento de grãos e sistemas de produção de proteína, bem como motores e peças de reposição. Em 2013, a empresa tornou-se fornecedora de produtos e serviços conectados que formam uma solução completa. A iniciativa pretende otimizar a operação do cliente e maximizar o tempo de atividade por meio da manutenção preventiva, do monitoramento de condição da máquina e da consulta durante todo o ano.

Para viabilizar sua estratégia, a AGCO também tem realizado parcerias com empresas desenvolvedoras de sistemas de informação e de gestão agrícola e outros *softwares* para gestão de fazendas, frotas e ativos, inclusive aplicativos móveis. Suas parceiras podem ter acesso aos dados de suas máquinas e desenvolver sistemas para uso com seus produtos a partir da abertura da interface de programação de aplicativos (API) de telemetria Ag Command. Os dados podem ser combinados e analisados pelas ferramentas e plataformas das parceiras de negócio.

Em 2014, a empresa anunciou a formação de uma *joint venture* com a norte-americana Appareo Systems, especializada em soluções agrícolas inteligentes (*intelligent agricultural systems* – IAS), que envolve desenvolvimento e fabricação de soluções eletrônicas e de *software* para fabricantes de equipamentos agrícolas originais. A parceria entre as duas empresas visa a desenvolver tecnologia para sistemas de controle de máquinas, aplicativos de sensoriamento, subsistemas automatizados, prognósticos de máquinas e monitoramento da integridade de máquinas, bem como

desenvolvimento de dispositivos e sistemas eletromecânicos inovadores. O objetivo é criar soluções de gestão de equipamentos e tecnologias avançadas, com suporte para uma variedade de tipos de culturas e mercados em nível mundial.

Em 2015, realizou uma parceria com a norte-americana Trimble, especializada em agricultura de precisão e importante fabricante de GPS, inclusive para agricultura. A empresa desenvolve receptores para sinais de satélites, assim como navegadores para guiar as máquinas agrícolas, direcionando pulverizadores e fazendo cálculos mais precisos para a aplicação de produtos. Essa parceria se destina a fornecer conectividade sem fio entre a ferramenta AgCommand da AGCO e a solução Connected Farm da Trimble, permitindo que dados de máquina da AgCommand possam ser exibidos dentro do painel Connected Farm da Trimble. Essa integração simplifica o acesso aos dados de uma fazenda para favorecer uma gestão mais eficiente, viabilizando o acesso a informações e a realização de ações a partir de múltiplas fontes dentro de uma única interface de usuário baseada em navegador da Internet.

Em 2017, a AGCO também estabeleceu uma parceria com a empresa canadense NovAtel visando a ampliar sua oferta de serviços para sistemas de orientação automática de seus equipamentos. Os clientes podem usar receptores NovAtel e adquirir sinais de correção de satélite – chamado Terra Star – para aprimorar o desempenho de posicionamento de suas máquinas. “Os serviços de correção Terra Star-C e TerraStar-L são serviços por assinatura entregues por satélite usando um sistema de mais de 80 estações de sistemas de satélite de navegação global (GNSS) para oferecer precisão coerente por todo o mundo”, diz a empresa. Tais serviços maximizam o tempo de funcionamento e a produtividade ao oferecer uma inicialização rápida da máquina para proporcionar uma posição confiável, e sua reconvergência imediata ao perder o sinal. Os clientes das máquinas AGCO podem fazer assinaturas dos serviços ofertados pela empresa em um de seus revendedores.

Na onda de investimentos da AGCO em agricultura de precisão, encontra-se a recente aquisição da unidade de componentes de agricultura de precisão Precision Planting, da Monsanto, em 2017. O negócio tem escopo global e envolve também os ativos da empresa no Brasil e na Argentina. A Monsanto saiu do negócio de componentes de agricultura de precisão para plantadeiras, concentrando-se em fornecer soluções de tecnologia agrícola para agricultores e agrônomos (HANSOTIA, 2017).

No setor de máquinas-ferramenta, o grupo TRUMPF se destaca na tecnologia a laser, sendo produtora, inclusive, de sensores, os quais são agregados aos equipamentos para desenvolver o produto Smart Factory, que envolve a consultoria em *software*. Seu processo de crescimento envolve altos investimentos em P&D, fusões e aquisições, as quais visam não apenas a busca de ativos tecnológicos, mas também a penetração em mercados tradicionais, como foi o caso da aquisição da maior parte das ações da chinesa Jiangsu Jinfangyuan CNC Machine Company Ltd. (JFY). Formou-se uma *joint venture* entre a TRUMPF e a maior empresa fabricante de laser na Itália, a SISMA, que

juntas teriam o intuito de produzir equipamentos de manufatura aditiva de elementos metálicos em larga escala.

Uma parte significativa e crescente das novas máquinas-ferramenta produzidas pelas grandes empresas internacionalizadas já está adaptada para a manufatura avançada. Por outro lado, como já foi salientado, é razoável que usuários ainda prefiram a compra de máquinas 3.0 ou mesmo 2.0, seja para realizar tarefas específicas, seja devido ao preço. Portanto, continuarão existindo produtores mantendo essas linhas de produção. Assim, a implantação da manufatura avançada poderá ser levada a cabo por produtores de grandes “pacotes” de serviços, mas também poderá ser implementada a partir da contratação de diferentes prestadores de serviços, que construirão um sistema único. Prevendo isso, a Bosch e a Siemens, por exemplo, já desenvolvem seus sistemas em plataformas abertas, o que permite diferentes composições de serviços. Para uma solução que envolva diferentes prestadores de serviço, é necessário dar especial atenção à comunicação entre os *softwares* para que o conjunto seja eficiente.

O interesse em explorar as oportunidades da Produção Inteligente tem levado grandes empresas mundiais diversificadas, como a Bosch e a Siemens, a avançar nas fusões e aquisições, assim como na organização de incubadoras de pequenas empresas de base tecnológica para assumir a vanguarda no fornecimento de soluções de manufatura avançada. Em uma reportagem sobre as estratégias da Siemens frente aos atuais desafios (PIZZINI, 2017), citam-se os investimentos de mais de US\$ 2 bilhões desde 2013 na compra de empresas de tecnologia, no intuito de impulsionar sua participação no mercado no setor de digitalização. Destaca-se também a criação da Next47 – que remete ao ano de fundação da Siemens, 1847 –, uma incubadora de *startups* que desenvolvem projetos nas áreas de inteligência artificial e de eletrificação descentralizada. Segundo a reportagem, a Siemens investiu mais de € 800 milhões em cerca de 180 *startups* nos últimos 20 anos, esteve em contato com mais de mil *startups* por ano, lançou cerca de 20 empreendimentos cooperativos por ano, e teria sido fundadora de mais de uma dezena dessas pequenas empresas de base tecnológica.

2.3 Experiência brasileira

Do lado da demanda, a velocidade da adoção da Produção Inteligente no mercado brasileiro depende da percepção das empresas sobre os ganhos e riscos potenciais envolvidos. No horizonte de cinco a dez anos, a retomada dos investimentos e do crescimento da economia brasileira deve ampliar o mercado para soluções desse tipo na economia brasileira, particularmente nas atividades mais internacionalizadas e mais dinâmicas.

A economia brasileira conta com setores fortemente internacionalizados, que acompanham de perto as melhores práticas mundiais de produção e de gestão.

As potenciais vantagens da Produção Inteligente devem, portanto, ser amplamente exploradas em atividades como o agronegócio, por exemplo. A indústria brasileira conta com empresas que utilizam equipamentos e técnicas de manufatura sofisticada em processos de fabricação e montagem nos setores automobilístico, aeronáutico, na produção de motores e de equipamentos elétricos, entre outros. Essas empresas são potenciais usuárias “naturais” para absorver a Produção Inteligente.

Do lado da oferta, o sistema produtivo de bens de capital no Brasil é fortemente internacionalizado e conta com a presença de empresas globais informadas e atuantes no desenvolvimento da Produção Inteligente no mercado mundial. As filiais das empresas estrangeiras constituem um canal de transmissão natural de novos equipamentos e processos produtivos. GE, Alstom, Siemens, Bosch, TRUMPF, Grob, John Deere, CNH Industrial, AGCO, Cummings e Embraco, entre outras, que atuam nos setores analisados neste documento, incorporam nas suas matrizes e também nas filiais brasileiras inovações de produtos e processos em linha com os desenvolvimentos tecnológicos globais.

Empresas de capital nacional, como Romi e WEG, também acompanham os desenvolvimentos da Produção Inteligente. A Romi, por exemplo, afirma que todos os seus produtos estarão equipados com o *hardware* da manufatura avançada até meados de 2018 – venha ele a ser acionado ou não pelo consumidor. É uma questão de escala e *marketing*. Há uma grande economia ao comprar lotes grandes de sensores e placas de captura de dados, e sempre existe a possibilidade de o usuário se arrepender de não ter acesso às novas tecnologias – caso no qual, estando ela embarcada, seria apenas uma questão de ativação.

No horizonte de cinco a dez anos, a Produção Inteligente encontrará terreno fértil no Brasil, dos lados tanto da demanda quanto da oferta de bens de capital. Entidades governamentais, como o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio e Serviços (MDIC) e o Ministério de Ciência, Tecnologia, Inovações e Telecomunicações (MCTIC), assim como o BNDES, têm agido de forma coerente com essa percepção e promovido o diálogo entre especialistas, empresários e agentes governamentais para identificar ações que promovam a incorporação das novas tecnologias de manufatura. Entidades privadas, como a Mobilização Empresarial pela Inovação, também partilham da mesma percepção e têm realizado estudos e debates com o mesmo propósito.

A despeito da percepção generalizada da relevância das novas tecnologias de manufatura para a competitividade, ainda não existe no Brasil uma iniciativa nos moldes das que há nos Estados Unidos ou na Alemanha, que atue como instância mobilizadora e coordenadora dos esforços de desenvolvimento tecnológico das instituições de pesquisa, das empresas fabricantes de equipamentos e dos demandantes.

Na ausência de qualquer iniciativa mais estruturante, a disseminação da Produção Inteligente na economia brasileira no horizonte de cinco a dez anos deve seguir uma trajetória bastante previsível:

- Setores usuários já automatizados e modernizados terão incentivos e capacidade para ampliar a digitalização e a automação de forma incremental, incorporando gradualmente segmentos das tecnologias disruptivas selecionadas.
- O mesmo deve ocorrer com as empresas líderes fabricantes de bens de capital, em especial as subsidiárias de empresas transnacionais, que terão maior capacidade para oferecer produtos e processos tecnologicamente atualizados no mercado brasileiro.
- Dessa forma, a maior parte das empresas líderes será capaz de embarcar em seus equipamentos elementos de sensoriamento e de conexão, agregando oportunidades de aumento de produtividade e de redução de custos para os usuários de bens de capital portadores dessas tecnologias, em especial no que se refere ao controle digital da produção e à intensificação de processos de manutenção preditiva.
- Haverá espaço para o surgimento de novos mercados em função da ampliação dos serviços que acompanham o uso dos novos equipamentos (“servitização”), com participação das empresas líderes, mas também com participação de empresas emergentes de base tecnológica (*startups*).
- As empresas emergentes de base tecnológica detêm a agilidade, a flexibilidade, a multidisciplinaridade (conhecimentos em *softwares*, equipamentos, gestão da produção), o grau de especialização e a criatividade que muitas vezes não estão disponíveis nos ativos tangíveis e intangíveis das empresas líderes do sistema de bens de capital.
- Dentre os novos serviços, inclui-se a integração de equipamentos novos e usados (*retrofit*) de vários produtores, com sistemas de controle digital da produção, por meio de ferramentas do tipo *manufacturing execution system* (MES), quase sempre interligados a outros sistemas de gestão, como ERP, da empresa demandante de soluções – compra de equipamentos conectados em conjunto com o oferecimento de serviços tecnológicos associados ao uso conectado.
- Outros serviços que podem ser oferecidos incluem o uso de dados gerados a partir da utilização dos equipamentos portadores das tecnologias de IoT. A coleta dos dados, seu armazenamento na nuvem e a elaboração de análises complexas de dados não estruturados (*data analytics*) poderá ser realizada pela empresa ofertante de equipamentos e soluções, com ou sem parceria com *startups*, ou possivelmente com atores mundiais de soluções de computação em nuvem (*cloud computing*) e de IA, como Amazon, Alibaba, Facebook, Google, IBM, Microsoft.
- Os serviços ofertados a partir da geração e análise de dados envolvem, sobretudo, a manutenção preventiva dos equipamentos e o controle digital da produção.
- Os principais riscos se referem à segurança cibernética. O uso de redes de comunicação pode ampliar o potencial de roubo de informações críticas e o risco de interferência remota em processos produtivos (na sabotagem de equipamentos e processos, por exemplo).
- Consequentemente, haverá aumento da demanda e oportunidades em expansão para serviços de segurança cibernética.

As atuais iniciativas das empresas mostram o perfil mais provável da trajetória “natural” de disseminação da manufatura inteligente na economia brasileira nos próximos anos. Esquemáticamente, pode ser descrita como um processo de difusão gradual, restrito ao núcleo de fabricantes e usuários mais dinâmico e comandado por suas iniciativas. Não tem sido essa a opção de outros países, como os Estados Unidos e a Alemanha, nos quais estão em curso iniciativas coordenadas para acelerar o ritmo e ampliar o alcance da disseminação da Produção Inteligente na estrutura produtiva.

2.4 Conclusão

A Produção Inteligente e Conectada tem caráter disruptivo no horizonte de cinco a dez anos, tanto no sistema produtivo de bens de capital quanto nas atividades produtivas em geral. O comportamento das empresas fabricantes de bens de produção no exterior e no Brasil referenda a percepção de que sua disseminação deve produzir profundas mudanças nas estruturas de mercado e nas estratégias de concorrência. Essa percepção é compartilhada por agências governamentais, tanto nos países desenvolvidos quanto nos emergentes, as quais conseqüentemente têm adotado medidas para promover o desenvolvimento tecnológico e a disseminação da Produção Inteligente nas suas economias.

As tecnologias que devem alterar a configuração, no horizonte de cinco a dez anos, da produção e do consumo de bens de capital no mundo e no Brasil para o sistema produtivo de bens de capital são aquelas que compõem o “núcleo duro” da Produção Inteligente e Conectada:

- Manufatura aditiva: processo de manufatura realizado pela junção de partículas, camada por camada, a partir de um modelo 3D do objeto. Esse processo é aplicado, sobretudo, para peças de geometria complexa e alto valor agregado, produzidas em lotes pequenos, e demanda materiais sob a forma de pós/granulados, líquidos e filamentos. As principais aplicações da manufatura aditiva estão relacionadas à indústria de manufatura, especialmente para os setores de produção de máquinas, aeroespacial, automotivo e bens de consumo.
- Robótica autônoma e colaborativa: robôs são dispositivos capazes de captar as condições do campo de trabalho e executar a tarefa de forma autônoma mediante dos seus sensores, processadores e atuadores. Eles também permitem compartilhar funções entre robôs e pessoas na execução de uma ou mais tarefas.
- Virtualização da produção – sistemas ciberfísicos: configurações de sistemas embarcados, sensores e atuadores conectados a redes, que viabilizam a virtualização da produção. Esses sistemas são constituídos por subsistemas autônomos e colaborativos capazes de estabelecer conexões entre si por meio de todos os níveis da cadeia produtiva, dependendo dos requisitos de cada situação. A comunicação entre os componentes permite realizar remotamente o controle de processos, serviços de diagnóstico e operação de produtos.

As tecnologias de redes de comunicação, *big data*, IoT e *blockchain* complementam e interceptam as tecnologias-chave do núcleo duro, e são consideradas tecnologias associadas e viabilizadoras da Produção Inteligente e Conectada. A evolução das tecnologias habilitadoras potencializa e acelera os impactos da manufatura inteligente e conectada.

No horizonte de cinco a dez anos, a Produção Inteligente encontrará terreno fértil no Brasil, tanto do lado da demanda quanto da oferta de bens de capital – visão partilhada por empresas e governo. Apesar dessa percepção generalizada sobre a relevância das novas tecnologias de produção para a competitividade, não existe ainda no país uma iniciativa nos moldes das que existem nos Estados Unidos ou na Alemanha, que permita acelerar o ritmo e ampliar o alcance da geração, da disseminação e do uso do conhecimento nesse campo.



3 DESAFIOS E IMPLICAÇÕES PARA O BRASIL

3.1 Uso atual e esperado das tecnologias digitais no sistema produtivo de bens de capital

Essa seção apresenta os principais destaques dos resultados obtidos pela pesquisa de campo do Projeto I2027 contemplando o sistema produtivo de Bens de Capital (SP Bens de Capital). O detalhamento dos resultados para este sistema encontra-se no Anexo 1.

O questionário foi aplicado entre 1º de junho e 31 de outubro de 2017 e obteve 759 respostas válidas dentro do público-alvo de estabelecimentos industriais com mais de 100 empregados. Especificamente no caso do SP Bens de Capital, foram obtidas 136 respostas válidas.

No SP Bens de Capital, 66% dos respondentes atribui probabilidade alta ou muito alta de a geração 4 de tecnologias digitais ser dominante até 2027. As maiores probabilidades são referentes a tecnologias digitais empregadas no Relacionamento com Fornecedores (78,7%) e no Relacionamento com clientes (71,3%), reproduzindo o padrão assinalado pelo conjunto da indústria. A menor probabilidade é atribuída às tecnologias empregadas na Gestão da produção (49,6%).

Hoje, 17,8% das empresas brasileiras utilizam as tecnologias da geração digital mais recente (gerações 3 ou 4), embora apenas 1,2% do painel já adote as da geração 4. No caso das empresas de Bens de Capital entrevistadas, o percentual das que estão nas gerações 3 ou 4 é inferior à média da indústria (22,2%).

Em 2027, 24,6% dos respondentes esperam estar na geração 4 – uma expansão significativa em relação à situação atual e acima da média geral (21,8%). Nas gerações 3 ou 4, estariam 61,5% das empresas do SP Bens de Capital, percentual superior à média geral (58,7%).

Na comparação de 2017 com 2027, os maiores níveis de adoção futura das tecnologias da geração 4 são esperados nas funções de Relacionamento com fornecedores (33,8%) e de Desenvolvimento de produto (29,4%), enquanto os maiores avanços são esperados nas funções de Gestão de negócios (de 0,7% para 26,5%) e de Relacionamento com fornecedores (de 1,5% para 33,8%). No geral, a expectativa de difusão das tecnologias entre as empresas de Bens de Capital é maior que a média da indústria, particularmente nas funções de gestão de negócios e de desenvolvimento de produto (exceto por gestão da produção, onde ocorreria o inverso).

Os impactos sobre a competitividade decorrentes da adoção das tecnologias da geração 4 são maiores para as funções de Desenvolvimento de produto e de Relacionamento com fornecedores – no primeiro caso, é relevante o atributo “customização” (assim como para o conjunto das funções) e, no segundo, o atributo “prontidão”.

Atualmente, a maioria das empresas encontra-se em estágio muito inicial de adoção das tecnologias digitais. Mais de 81% do painel não está adotando nenhuma ação ou está apenas realizando estudos iniciais de tecnologias para Gestão de Negócios. A intensidade desse esforço é maior no caso de relacionamento com fornecedores e desenvolvimento de produto; porém, mesmo assim, 40,2% das empresas não estão se movimentando para a adoção das tecnologias da geração 4 em nenhuma função organizacional e 31,4% encontram-se ainda em estudos iniciais nesse sentido.

Comparativamente ao total do painel, há maior intensidade de esforços em treinamento e P&D, e menor intensidade no caso de investimento. Há maior proporção de empresas com ações em execução relacionadas a treinamento para tecnologias empregadas na função de relacionamento com clientes.

Na comparação de 2017 com 2027, os maiores níveis de adoção futura das tecnologias da geração 4.0 são esperados na função de relacionamento com fornecedores e desenvolvimento de produto, enquanto os maiores avanços são esperados em gestão de negócios e relacionamento com fornecedores. No geral, a expectativa de difusão das tecnologias entre as empresas de Bens de Capital é maior que a média da indústria, particularmente nas funções de Gestão de Negócios e de Desenvolvimento de Produto.

Os maiores impactos esperados das tecnologias 4.0 sobre a competitividade são nas funções de desenvolvimento de produto e de relacionamento com fornecedores – no primeiro caso, espera-se redução de custos e maior “customização” e, no segundo, o aumento da “prontidão”.

À guisa de conclusão observa-se que, a despeito da percepção da importância dos impactos, são relativamente poucas as empresas que declaram estar engajadas em ações para adotar as tecnologias de nova geração. Comparativamente ao conjunto da indústria brasileira, no sistema produtivo de bens de capital, há maior intensidade de esforços em treinamento e P&D, e menor intensidade no caso de investimento.

3.2 Riscos, oportunidades e capacidade de resposta das empresas

A Produção Inteligente representa, em primeiro lugar, uma oportunidade para que a economia brasileira reduza o hiato de produtividade que, em algumas atividades, a distância dos países desenvolvidos e de outros países emergentes. A indústria de transformação brasileira se encontra numa posição intermediária entre os países emergentes e os países desenvolvidos. Deve aumentar a eficiência na indústria para manter a capacidade de suprir o mercado interno e concorrer no mercado global.

O potencial disruptivo da Produção Inteligente pode ser o catalisador de um salto na produtividade da indústria brasileira. Sua disseminação pode induzir à renovação do parque industrial e trazer ganhos de eficiência para os setores demandantes e produtores de equipamentos. Para os fabricantes, representa também, de um lado, uma oportunidade de reativação do mercado por meio da atualização dos produtos; de outro, o surgimento de novos negócios, como o dos serviços associados. Tanto para os demandantes quanto para os fabricantes, trata-se de uma oportunidade de emparelhamento (*catching-up*) tecnológico e competitivo com os concorrentes e de expansão dos negócios.

A Produção Inteligente acarreta também riscos decorrentes do fato de se tratar de um *Cluster* de tecnologias ainda em fase de evolução. No caso das tecnologias maduras, o emparelhamento envolve menor risco tecnológico e de mercado. Como o processo de seleção de tecnologias pelo mercado ainda está em curso, o emparelhamento envolve apostas por parte dos fabricantes e dos usuários.

Até certo ponto, os riscos são inerentes ao processo de inovação e, portanto, inevitáveis. Entretanto, podem e devem ser relativizados para que o processo possa avançar. As estratégias das empresas do sistema de bens de capital mostram claramente a intenção de compartilhar e minimizar riscos por meio da criação de redes, de estabelecimento de alianças e de fusões e aquisições. As iniciativas institucionais nos Estados Unidos e na Alemanha revelam a mesma preocupação: coordenar esforços, compartilhar e minimizar riscos tecnológicos e de mercado.

O Brasil não pode aguardar o amadurecimento da Produção Inteligente para que os riscos envolvidos no desenvolvimento e disseminação da nova tecnologia diminuam. Até então, o hiato de produtividade haveria aumentado, e a oportunidade para reduzi-lo teria sido perdida. Também não é desejável que a disseminação de seus benefícios fique restrita apenas ao núcleo mais competitivo de empresas fabricantes e usuárias de equipamentos, mais preparadas para fazer frente aos riscos envolvidos.

Para explorar plenamente as oportunidades advindas dessa tecnologia, é preciso estabelecer mecanismos para evitar, na medida do possível, que os riscos obstaculizem ou restrinjam o processo. Para tanto são necessários, assim como em outros países, a coordenação e o compartilhamento de riscos entre as empresas e entre atores públicos e privados. O Brasil precisa encontrar o modelo mais adequado ao seu perfil tecnológico, empresarial e institucional, assim como a Alemanha e os Estados Unidos fizeram com suas respectivas iniciativas.

O sistema produtivo de bens de capital, assim como o conjunto da economia brasileira, é composto por empresas de perfil muito heterogêneo, com capacidades e competências extremamente desiguais. Esquemáticamente, é possível distinguir três classes diferentes de atores no sistema com relação às tecnologias disruptivas.

As grandes empresas, sejam filiais de empresas estrangeiras ou de origem nacional, têm acesso aos recursos técnicos, empresariais e financeiros para enfrentar os desafios do mercado, embora nem sempre nas mesmas condições que seus concorrentes de outros países. Empresas líderes na fabricação de diversos tipos de bens de capital e também alguns usuários sofisticados percebem o potencial disruptivo das novas tecnologias e mobilizam seus recursos em função dessa percepção. Neste documento foram mencionadas iniciativas de várias empresas brasileiras representativas deste grupo que ilustram que são capazes de identificar oportunidades de negócios na Produção Inteligente e de atuar de forma proativa para explorá-las.

Uma segunda categoria é constituída por empresas de menor porte, de base tecnológica, com competências complementares às dos fabricantes de equipamentos. Na sua maioria, têm capacidade de projeto de sistemas eletrônicos. Normalmente carecem das competências empresariais e dos recursos financeiros do primeiro grupo. Constituem parceiros potenciais das grandes, ou podem ser absorvidas por elas. Neste documento foram relatadas iniciativas de empresas brasileiras representativas desse grupo, que tenta explorar as oportunidades de novos negócios que emergem da manufatura avançada.

O terceiro grupo é composto por empresas fabricantes de máquinas e equipamentos de uso geral, de caldeiras e estruturas metálicas e de equipamentos elétricos e mecânicos menos sofisticados. Trata-se do perfil dominante entre as empresas que responderam à pesquisa de campo, cujos resultados foram resumidos neste documento. Constituem o segmento mais frágil em termos de capacidade de transitar para uma nova geração de tecnologias.

O quadro atual mostra que a maioria se encontra atualmente num estágio muito incipiente de adoção da manufatura avançadas. Predomina neste grupo o uso das manufaturas rígida e flexível. Embora percebam a importância dos impactos da manufatura inteligente, conforme mostrou a pesquisa de campo, até o momento são poucas aquelas que realizam ações efetivas que as levem nessa direção. A permanecer o quadro, sua participação no processo deverá ser restrita e defasada.

3.3 Desafios para a indústria brasileira

O principal desafio consiste em ultrapassar os limites da trajetória previsível de disseminação da Produção Inteligente na indústria brasileira, acelerando o ritmo e ampliando o alcance para além do grupo de empresas líderes, de modo que os ganhos de produtividade se espalhem de forma mais ampla na estrutura produtiva. É preciso evitar a adoção defasada e restrita a um reduzido número de empresas. As novas tecnologias não devem se difundir apenas entre as empresas líderes e suas cadeias de suprimento e distribuição. É necessário que alcancem à maior parte das empresas que

atuam no sistema produtivo de bens de capital para que possam incorporar os ganhos de competitividade potenciais.

A difusão do uso das novas tecnologias deve ser mais ampla e mais rápida. A pesquisa de campo constatou que as empresas antecipam impactos importantes no horizonte de dez anos. Essa percepção não é condizente com a baixa proporção de ações concretas. Para tanto, é necessário fortalecer a capacidade de desenvolver e disseminar conhecimento sobre as novas tecnologias digitais e promover sua utilização.

O desafio implica estabelecer canais que tornem mais fluido o fluxo de conhecimento entre a pesquisa e a atividade produtiva. O avanço da Produção Inteligente envolve um complexo de tecnologias ainda em fase de evolução e de seleção. Depende da interação complexa entre Inteligência Artificial, IoT, Redes de Comunicação, *big data* e outras tecnologias. O conhecimento gerado em qualquer dessas áreas deve estar rapidamente disponível para integração com os avanços nas outras áreas e sua aplicação no projeto, fabricação e uso de equipamentos e sistemas inteligentes na produção.

As empresas de base tecnológica podem realizar uma contribuição nesse sentido. No exterior desempenham um papel importante no desenvolvimento de soluções inovadoras por meio das quais as novas tecnologias se difundem no conjunto da indústria. Criar um ambiente no qual o segmento das empresas de base tecnológica possa se expandir e renovar continuamente é uma forma de promover uma trajetória acelerada e ampla de difusão da manufatura digital. Suas competências são complementares com as das empresas líderes da indústria de bens de capital.

3.4 Implicações

O principal hiato para vencer o desafio está localizado no plano institucional. O Brasil dispõe de pesquisadores capazes de gerar e disseminar conhecimento nas tecnologias que sustentam o avanço da Produção Inteligente. Conta também com atores no sistema produtivo de bens de capital e em outros setores aptos a fazer uso desse conhecimento. O elo frágil está na capacidade de mobilizar e articular as iniciativas dos atores envolvidos.

O desenvolvimento da Produção Inteligente rompe com barreiras disciplinares na pesquisa e com especializações no mundo da produção. Exige articulação entre campos de conhecimento e entre empresas, assim como agilidade de comunicação e de cooperação entre pesquisadores, produtores e usuários de equipamentos. Demanda arranjos institucionais ágeis e flexíveis, que possam evoluir ao longo do processo. Outros países têm desenhado arranjos institucionais inovadores para enfrentar o desafio que essa tecnologia representa. O Brasil não conta até o momento com uma iniciativa adequada à sua realidade para desempenhar esse papel.



REFERÊNCIAS

ABIMAQ. **Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos.** www.abimaq.org.br

AGCO. Disponível em: <<http://www.agco.com.br/>>. Acesso em: 17 de outubro de 2017.

ANFAVEA. **Anuário da Indústria Automobilística Brasileira.** 2016 e 2017.

BARROS, Bettina. **John Deere compra startup de robôs por US\$ 305 milhões.** Valor Econômico. 08 de setembro de 2017. Disponível em: <<http://www.valor.com.br/agro/5112460/john-deere-compra-startup-de-robos-por-us-305-milhoes>>. Acesso em: 21 de outubro de 2017.

BASF. Disponível em: <<http://www.agrostart.basf.com/pt/index.shtml>>. Acesso em: 30 out. 2017.

BCG – THE BOSTON CONSULTING GROUP. **Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.** Abril, 2015. Disponível em: <<https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf>>. Acesso em: 09 de setembro de 2017.

CÉLERES. **O setor de máquinas agrícolas no Brasil: evolução nos últimos anos e perspectivas.** 5 de novembro de 2014. Disponível em: <<http://www.celeres.com.br/o-setor-de-maquinas-agricolas-no-brasil-evolucao-nos-ultimos-anos-e-perspectivas/>>. Acesso em: 3 de novembro de 2017.

CNI – **Confederação Nacional da Indústria** www.cni.org.br. Dados disponíveis em: www6.sistemaindustria.org.br/gpc/externo/listaResultados.faces

DAEDONG. Disponível em: <http://www.daedong.co.kr/eng/products/tractor_list.asp>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

EUROMONITOR INTERNATIONAL. www.euromonitor.com

EU-SME CENTRE. **The Machinery Sector in China. 2011.** Disponível em: <http://www.ccilc.pt/sites/default/files/machinery_sectorreport_v3_en.pdf>. Acesso em: 02-julho-2017.

FANG, W. **Current Status and Development Trends of China's Agricultural Machinery Industry.** Foton Lovol. July, 2015. Disponível em: <<http://www.un-csam.org/ppta/2015distr/4.pdf>>. Acesso em: 02-julho-2017.

GARDNER WEB. **2016 World Machine Tool Survey**. Disponível em: <<http://www.gardnerweb.com/articles/2016-world-machine-tool-survey>>. Acesso em: 02-setembro-2017.

HANSOTIA, Eric. **AGCO closes on Precision Planting acquisition**. 5 de Setembro de 2017. AGCO News Releases. Disponível em: <<https://news.agcocorp.com/news/agco-closes-on-precision-planting-acquisition>>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

IBGE – **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Pesquisa Industrial Anual (PIA), 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY www.iea.org.

INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK. United States Energy Information Administration, 2003. Disponível em: <<http://www.eia.gov>>

INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK. United States Energy Information Administration, 2016. Disponível em: <<http://www.eia.gov>>.

JACTO. Disponível em: <<http://www.jacto.com.br/brasil>>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

JACTO. EXPOINTER: **Inovações em adubação e agricultura de precisão oferecem otimização de recursos e desempenho para a produção**. Disponível em: <<http://www.jacto.com.br/brasil/press/news/expointer-inovacoes-em-adubacao-e-agricultura-de-precisao-oferecem-otimizacao-de-recursos-e-desempenho-para-a-producao>>. Acesso em: 23 de outubro de 2017.

DEERE, J. Disponível em: <<https://www.deere.com.br>>. Acesso em: 17 de outubro de 2017.

KUMBHAR, S. **Telit joins John Deere supply base**. May 18, 2016. Disponível em: <<https://www.loT-now.com/2016/05/18/47508-telit-joins-john-deere-supplier-supply-base/>>. Acesso em : 23 out. 2017.

LSMTRON. Disponível em: <<http://www.lsmtron.com/page/lsmtronMain.asp>>. Acessado em: 04 de agosto de 2017>.

MELO, C. **Como a robótica está moldando a agricultura do futuro**. Revista Plant Project. 2 de maio de 2017. Disponível em: <<http://www.startagro.agr.br/reportagem-especial-como-a-robotica-esta-moldando-a-agricultura-do-futuro/>>. Acesso em: 20 out. 2017.

MIGUEZ, T.; WILLCOX, L.D.; DAUDT, G. **O setor de bens de capital: diagnóstico do período 2000-2012 e perspectivas a partir do cenário econômico**. BNDES Setorial, nº 42, setembro de 2015. p. 297-336.

PIZZINI, K. **Siemens investe em ações para se aproximar de jovens inovadores.** Revista Manufatura em foco. Edição 29. 26 de julho de 2017. Disponível em <https://www.manufaturaemfoco.com.br/tag/edicao-29/>

RESEARCH IN CHINA. **Global and China CNC Machine Tool Report, 2016-2020.** Disponível em: <http://www.researchinchina.com/Htmls/Report/2016/10306.html>. Acesso em: 24 de agosto de 2017.

STARA. Disponível em: <http://www.stara.com.br/>. Acesso em: 04 de agosto de 2017.

START AGRO. **Como é o futuro que startups preparam para os equipamentos agrícolas.** 11 de maio de 2017. Disponível em: <http://www.startagro.agr.br/confira-como-e-o-futuro-que-startups-e-pesquisadores-preparam-para-as-maquinas-agricolas/>. Acesso em: 27 de outubro de 2017.

VIAN, C. E. F. **Documento Setorial: Máquinas e Implementos Agrícolas.** Projeto Perspectivas do Investimento no Brasil. Sistema Produtivo: Mecânica. Campinas, 2009.



ANEXO – DETALHAMENTO DOS RESULTADOS DA PESQUISA DE CAMPO: SP BENS DE CAPITAL

A1 Caracterização da amostra de respondentes

A1.1 Concepção da pesquisa

A pesquisa de campo do Projeto I2027 foi construída para mapear o processo de difusão atual e esperado de inovações em Tecnologias de Informação e Comunicação na indústria. Para isso, considerou-se uma sequência de quatro gerações digitais: Produção Rígida; Produção Flexível; Produção Integrada; e Produção Inteligente e Conectada, essa última correspondente ao paradigma digital 4.0.

A empresa foi observada a partir de cinco funções: Relacionamento com fornecedores; Desenvolvimento de produto; Gestão do processo de produção; Relacionamento com clientes/consumidores; e Gestão dos negócios.

O Quadro A1 detalha a estrutura analítica que guiou a concepção do trabalho. As principais características da consulta realizada, incluindo a descrição do questionário utilizado, podem ser encontradas no Relatório Final da Pesquisa de Campo que integra a documentação do Projeto I2027.

Quadro A1 – Gerações digitais de acordo com as funções empresariais

	Relacionamento com fornecedores	Desenvolvimento de produto	Gestão da produção	Relacionamento com clientes/consumidores	Gestão dos negócios
Geração 1	Transmissão de pedidos manualmente	Sistema de projeto auxiliado por computador	Automação simples (rígida) com máquinas não conectadas	Execução de contatos e registros manualmente	Sistemas de informação independentes específicos por departamento/área, sem integração
Geração 2	Transmissão de pedidos por meio eletrônico	Sistema integrado de projeto, fabricação e cálculo de engenharia com auxílio de <i>software</i>	Processo parcial ou totalmente automatizado	Automação da força de vendas	Sistemas compostos por módulos e base de dados integrados

	Relacionamento com fornecedores	Desenvolvimento de produto	Gestão da produção	Relacionamento com clientes/ consumidores	Gestão dos negócios
Geração 3	Suporte informatizado dos processos de compras, estoques e pagamentos	Sistemas integrados de gestão de dados de produto	Sistemas integrados de execução de processo	Sistema de integração e suporte baseado em Internet	Plataforma <i>web</i> com bases de dados para apoiar análises de negócio
Geração 4	Relacionamento com fornecedores por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de <i>Web services</i>	Sistemas virtuais de desenvolvimento Desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo	Gestão da produção automatizada por meio de soluções de Comunicação M2M (máquina-máquina)	Relacionamento com clientes por meio de tecnologias de monitoramento dos produtos em uso Monitoramento e gestão do ciclo de vida de clientes	Gestão do negócio por meio de processos automatizados com apoio de Inteligência Artificial e utilização de <i>Big Data Analytics</i>

Fonte: Elaboração própria.

A1.2 Alvo amostral e período de coleta

A pesquisa foi aplicada via Internet tendo como alvo amostral estabelecimentos industriais com 100 ou mais empregados, possíveis de serem estratificados segundo diferentes recortes, com destaque para os “sistemas produtivos” de atuação das empresas, o tamanho das empresas (em termos do número de empregados), região e origem do capital.

A1.3 Caracterização dos respondentes

Na base de dados, o sistema produtivo de Bens de Capital (SP Bens de Capital) perfaz um total de 136 empresas, correspondentes a 17,9% do total da amostra.

A Tabela A1 apresenta as características da subamostra do SP Bens de Capital. Das 82 empresas que informaram o número de empregados (60,3% do total), 42,7% se classificavam como empresas de médio-grande porte (entre 250-500 empregados); 34,4%, como empresas porte de grande porte (mais de 500 empregados); e 22,0%, como empresas de médio porte (entre 100-250 empregados). Em termos da origem do capital, 82,4% dos respondentes eram de propriedade de capital nacional. Em termos do setor de atuação no SP Bens de Capital, a maioria atua, respectivamente, nos setores de máquinas e equipamentos para uso industrial (20,6%), caldeiraria e estruturas metálicas (17,6%), máquinas e equipamentos para uso geral (16,9%) e demais bens de capital (14,7%). Por fim, em termos da localização, a maior parte dos respondentes está nas Regiões Sudeste (49,3%) e Sul (44,1%).

Tabela A1 – Caracterização do painel por porte, setor de atuação e localização – SP Bens de Capital

	Tamanho	Tamanho % (total e com resposta)	
Grande (mais de 500 empregados)	29	21,3%	35,4%
Médias (100-250 empregados)	35	25,7%	42,7%
Médias-grandes (250-500 empregados)	18	13,2%	22,0%
Sem resposta	54	39,7%	
Total geral	136	100,0%	

	Origem do capital	Origem do capital %	
Demais nacionalidades	24	17,6%	
Nacional	112	82,4%	
Total geral	136	100,0%	

	Principal setor	Principal setor %	
Máquinas e equipamentos para uso industrial	28	20,6%	
Caldeiraria, estruturas metálicas, etc.	24	17,6%	
Máquinas e equipamentos para uso geral	23	16,9%	
Demais bens de capital	20	14,7%	
Motores e outros bens seriados	16	11,8%	
Máquinas e implementos agrícolas	15	11,0%	
Equipamentos de GTD	7	5,1%	
Máquinas-ferramenta	3	2,2%	
Total geral	136	100,0%	

	Localização	Localização %	
Sudeste	67	49,3%	
Sul	60	44,1%	
Nordeste	3	2,9%	
Norte	3	2,2%	
Centro-Oeste	2	1,5%	
Total geral	136	100,0%	

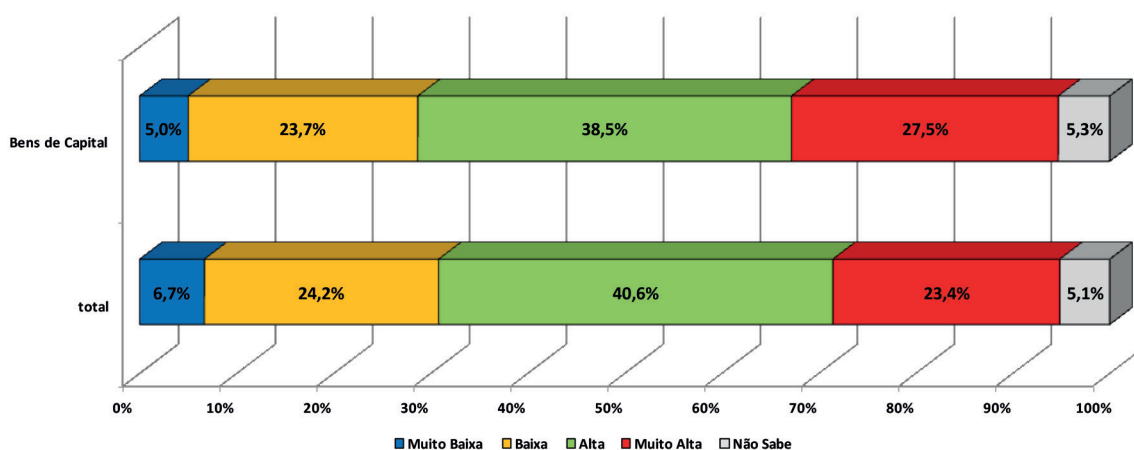
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2 Resultados

A2.1 Probabilidade de adoção das tecnologias

De acordo com a pesquisa, a probabilidade de as tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes nos setores de Bens de Capital no futuro (entre cinco a dez anos) é “alta” ou “muito alta” para 66% dos respondentes, patamar superior ao observado para o conjunto da indústria (64%), conforme mostra o Gráfico A1.

Gráfico A1 – Probabilidade de as tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes no setor de atuação do respondente no futuro (entre cinco e dez anos), em % do número de respondentes – SP Bens de Capital e total da indústria

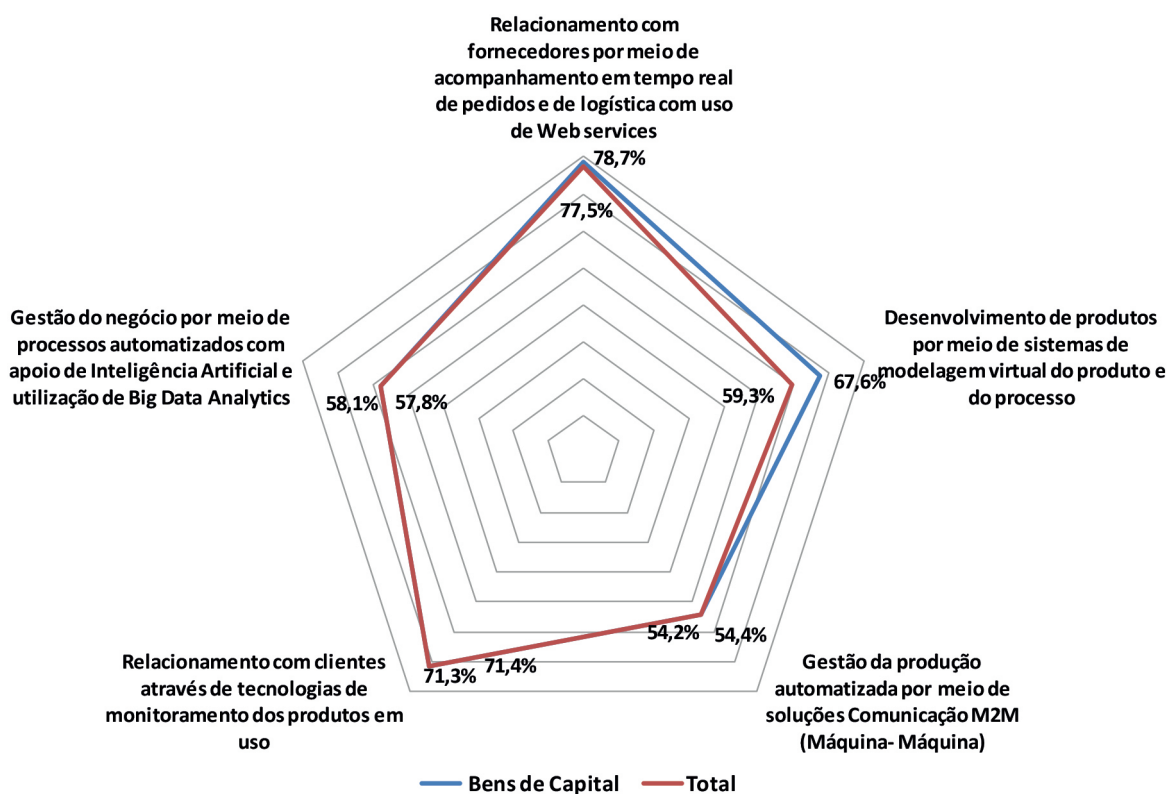


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

O Gráfico A2 detalha as expectativas do painel em termos da adoção das tecnologias 4.0 nas diferentes funções organizacionais enfocadas na pesquisa de campo. No SP Bens de Capital, maior proporção de respondentes atribuiu probabilidade “alta” ou “muito alta” de adoção das tecnologias digitais no relacionamento com fornecedores, por meio de acompanhamento em tempo real de pedidos e de logística com uso de *Web services* (78,7%), também no relacionamento com clientes, com tecnologias de monitoramento dos produtos em uso (71,3%) – expectativas essas que reproduzem as verificadas para o conjunto da indústria.

No caso do desenvolvimento de produtos por meio de sistemas de modelagem virtual do produto e do processo, o percentual de 67,6%, embora relativamente menor, é bem maior do que a média da indústria. A menor probabilidade foi atribuída para gestão da produção automatizada por meio de soluções comunicação M2M (máquina- máquina), com 54,4%, que, mesmo assim, ficou acima da expectativa geral da indústria.

Gráfico A2 – Probabilidade “alta” ou “muito alta” de as tecnologias da geração digital 4.0 se tornarem dominantes no setor de atuação (entre cinco e dez anos) para as funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP Bens de Capital e total da indústria

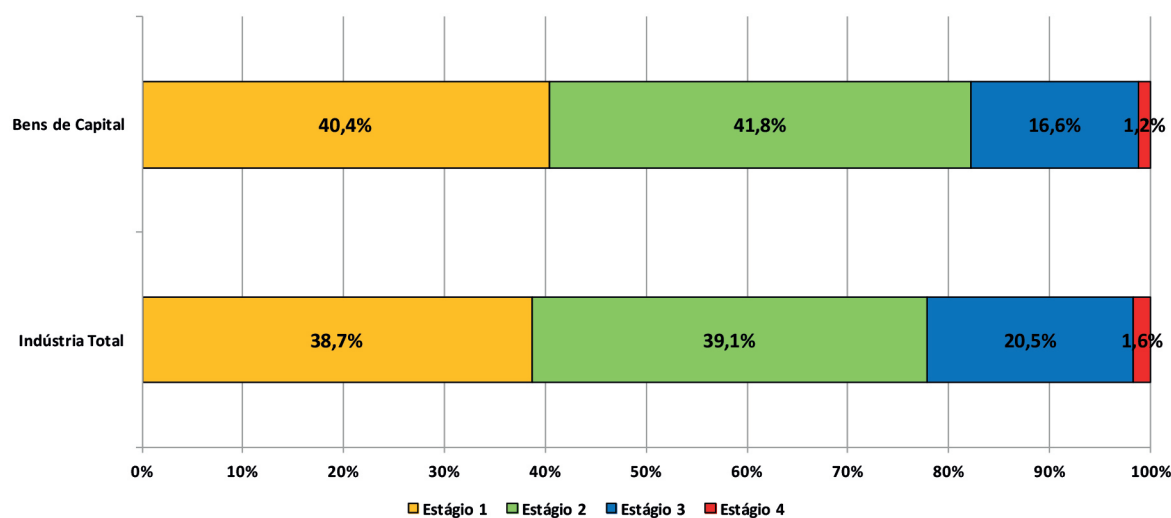


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A.2.2 Gerações digitais dos respondentes hoje

Dada a alta probabilidade de difusão das tecnologias mais avançadas na expectativa das empresas, a análise da geração tecnológica em que as empresas se posicionam hoje ganha particular interesse. No caso do SP Bens de Capital, apenas 1,2% das empresas do painel indicaram encontrar-se na geração 4 (Gráfico A3), percentual abaixo do registrado para o conjunto da indústria (1,6%). Considerando-se os que estariam nas gerações 3 e 4 conjuntamente, esse percentual atingia 17,8% no SP Bens de Capital, proporção também abaixo da média geral (22,2%).

Gráfico A3 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje, em % do número de empresas – SP Bens de Capital e total da indústria

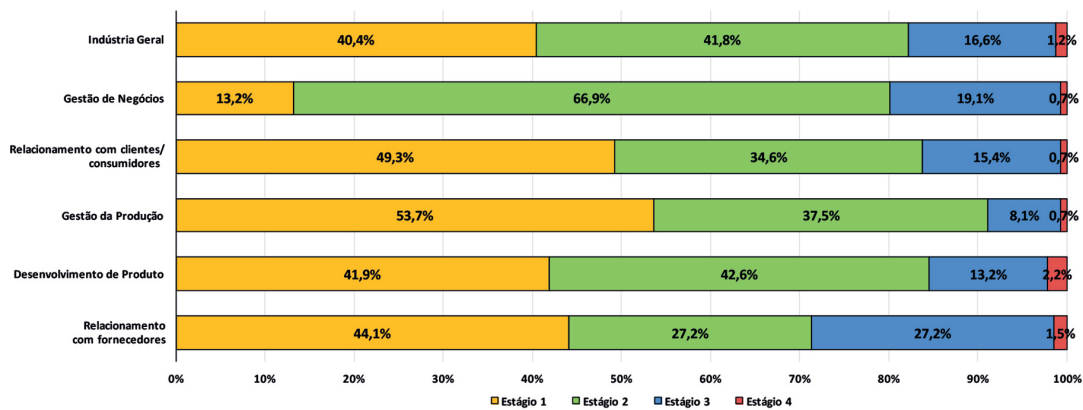


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.3 Gerações tecnológicas de acordo com função empresarial

Com relação ao estágio das tecnologias empregadas nas diferentes funções empresariais analisadas, o estágio mais avançado estaria na função de desenvolvimento de produto, na qual apenas 2,2% dos respondentes afirmam adotar hoje tecnologias da geração 4 (Gráfico A4). Os resultados mais baixos na adoção das tecnologias digitais são observados nas funções Gestão da produção, Relacionamento com clientes e Gestão de negócios. Por outro lado, 28,7% das empresas adotam hoje tecnologias das gerações 3 e 4 na função de relacionamento com fornecedores, percentual superior ao indicado para as demais funções. Entretanto, apenas 8,8% dos respondentes dizem adotar tecnologias das gerações 3 e 4 na função de gestão da produção.

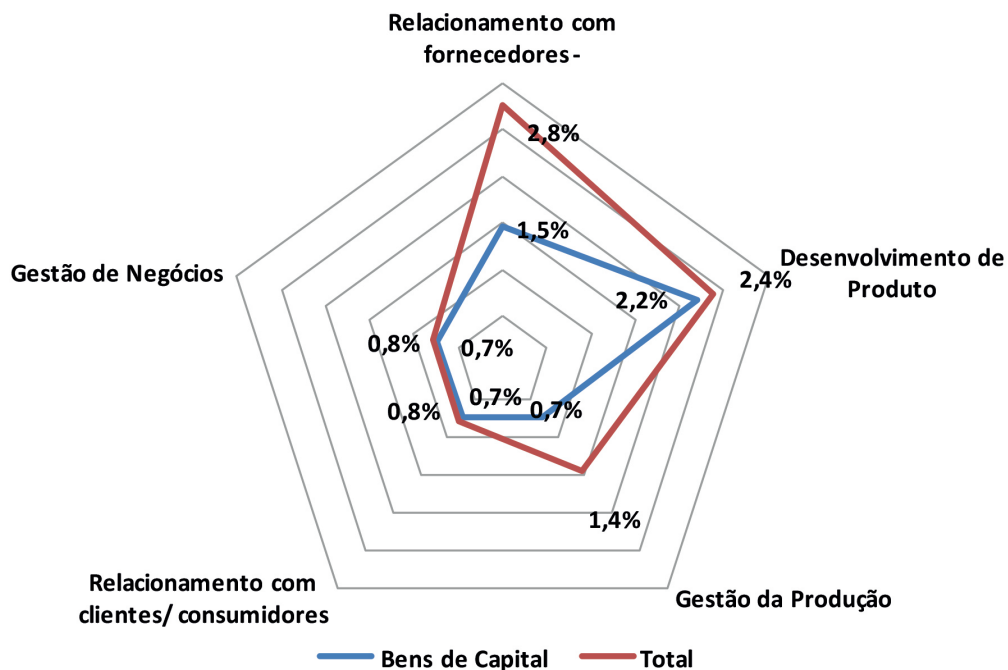
Gráfico A4 – Distribuição dos respondentes segundo gerações digitais, hoje, funções, em % de respondentes – SP Bens de Capital



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Essa análise pode ser mais bem qualificada por meio da comparação do SP Bens de Capital com o total da Indústria, como feito no Gráfico A5. Observa-se uma tendência à difusão menos intensa dessas tecnologias no SP Bens de Capital, em especial nas funções de Relacionamento com fornecedores (1,5% contra 2,8%) e de Gestão da produção (0,7% contra 1,4%). Essa diferença é menor no caso do Desenvolvimento do produto (2,2% contra 2,4%).

Gráfico A5 – Percentual de respondentes atualmente na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP bens de capital e total da indústria

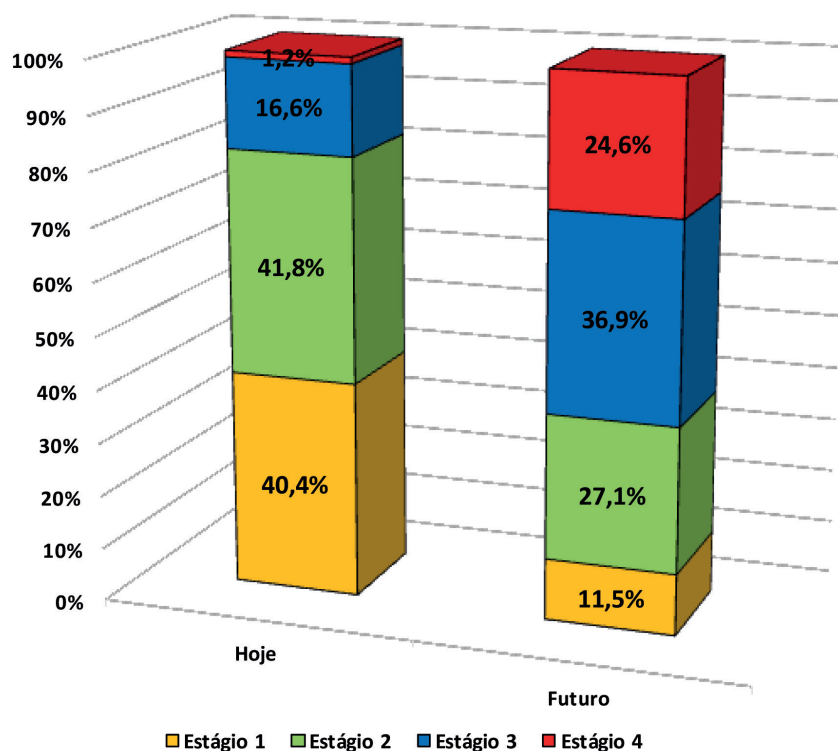


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.4 Expectativas de adoção para 2027

Uma vez constatada a baixa difusão atual, cabe avaliar qual a expectativa das empresas em relação à difusão futura das tecnologias 4.0. Considera-se aqui um horizonte de dez anos, que utiliza como referência o ano de 2027 (Gráfico A6). As evidências mostram um crescimento significativo da difusão das tecnologias da geração 4 entre os respondentes do painel, passando de 1,2% para 24,6% das empresas entre 2017 e 2027. Além disso, o percentual de empresas na geração 3 também tende a aumentar, de 16,6% em 2017 para 36,9% em 2027. Como consequência a proporção de empresas nas gerações 3 e 4 evoluiria de 17,8% para 61,5% no horizonte analisado – um crescimento de 245% na participação.

Gráfico A6 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP Bens de Capital

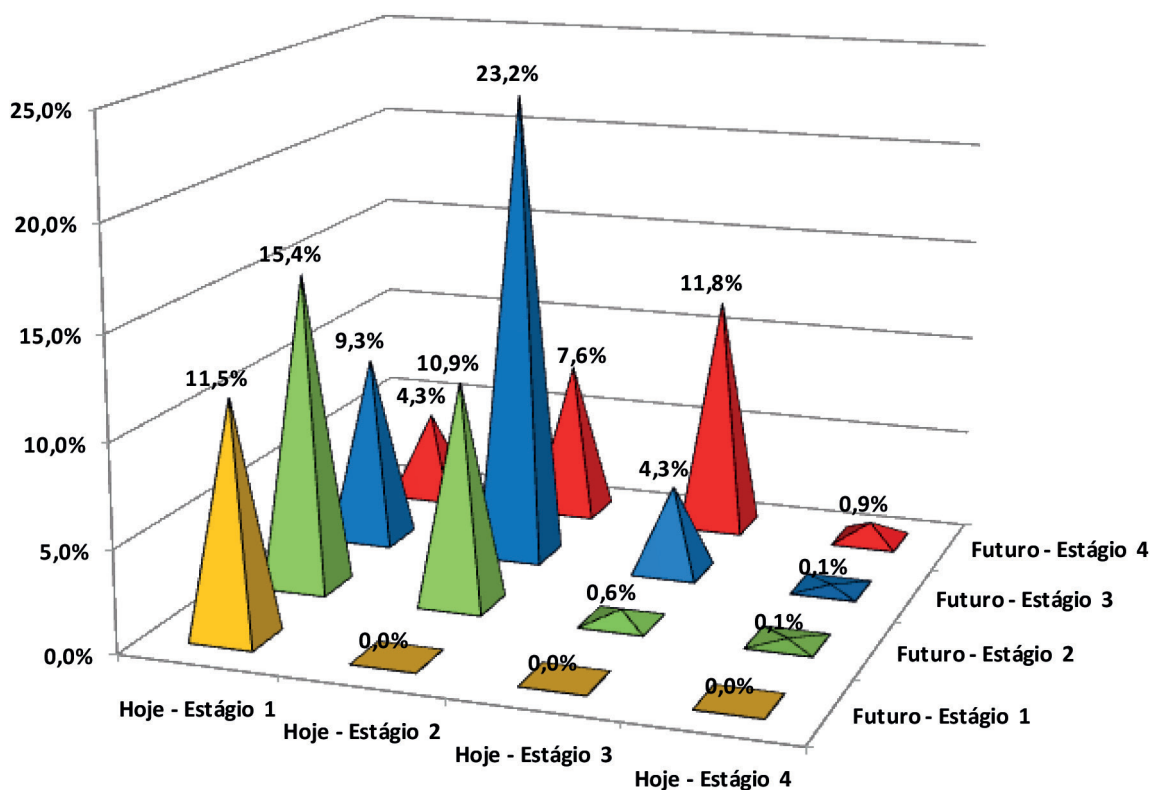


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Alternativamente, pode-se analisar a evolução do SP Bens de Capital ao longo do período por meio da “migração” das empresas entre as diferentes gerações tecnológicas (Gráfico A7). No caso de 40,4% do total de empresas localizadas na geração 1 em 2017,

espera-se que 11,5% permaneçam naquele estágio em 2027; 15,4% avancem para a geração 2; 9,3% migrem para a geração 3; e 4,3%, para a geração 4 (o que, neste último caso, parece um pouco improvável). No caso de 41,8% do total de empresas localizadas na geração 2 em 2017, a perspectiva seria de que 10,9% permanecessem naquele estágio em 2027; 23,2% avançassem para a geração seguinte e 7,6%, para a geração 4. Por fim, no caso de 16,6% do total de empresas localizadas na geração 3 em 2017, a perspectiva seria de que 4,3% ali permanecessem em 2027 e 11,8% avançassem para a geração 4.

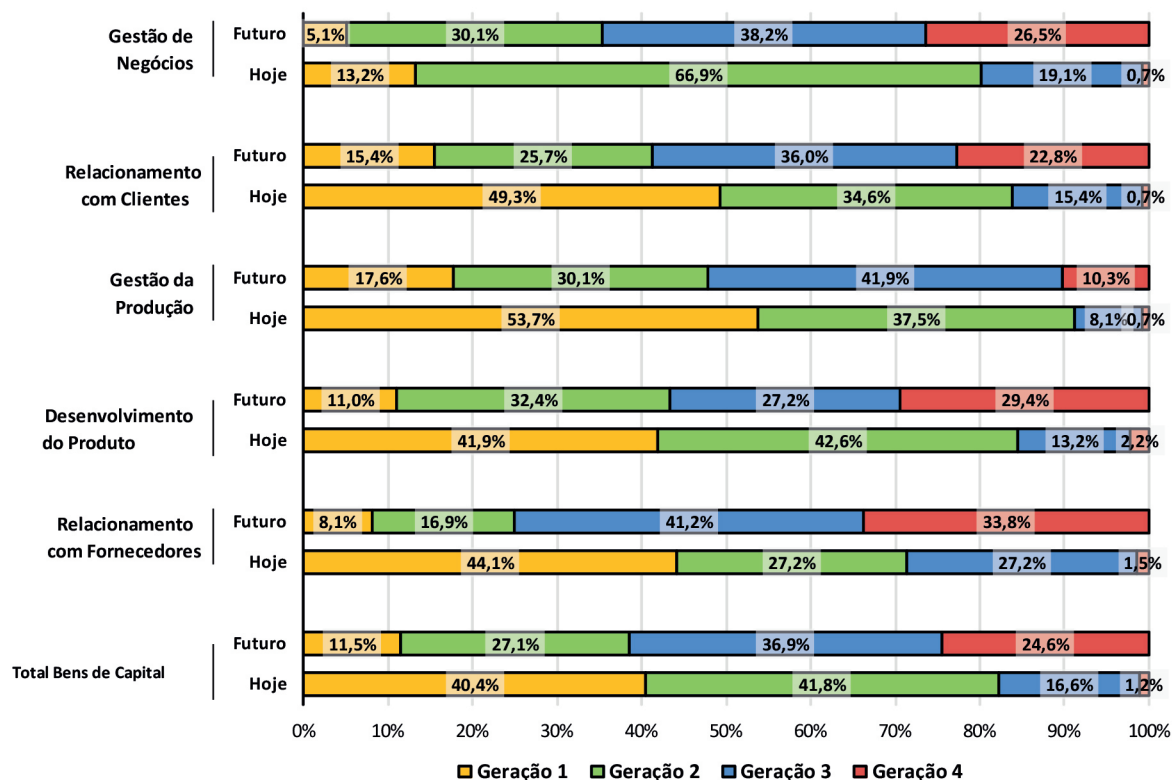
Gráfico A7 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP Bens de Capital



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A análise geral da difusão atual e futura de tecnologias disruptivas pode ser mais bem qualificada considerando especificidades das diversas funções organizacionais (Gráfico A8). As particularidades encontradas para o SP Bens de Capital são destacadas a seguir:

Gráfico A8 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais de acordo com as funções organizacionais, hoje e futuro, em % do número de respondentes – SP Bens de Capital



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Relacionamento com fornecedores

Espera-se crescimento da intensidade da difusão associada à geração 4 com crescimento esperado de 1,5% para 33,8% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas na geração 3 também tende a aumentar, de 27,2% para 41,2%. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 28,7% para 75% em 2027, correspondendo a um crescimento de 162% naquela participação.

Desenvolvimento de produtos

A taxa de difusão das tecnologias da geração 4 deve crescer de 2,2% para 29,4% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, de 13,2% para 27,2%. Como consequência a proporção de empresas entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 15,4% em 2017 para 56,6% em 2027, correspondendo a um crescimento de 267% naquela participação.

Gestão da produção

A intensidade da difusão associada à geração 4 deverá expandir-se de 0,7% para 10,3% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas na geração 3 também deve crescer de 8,1% para 41,9% e, como consequência, o percentual entre as gerações 3 e 4 passaria de 8,8% (2017) para 52,2% (2027), equivalendo a uma expansão de 492% na participação.

Relacionamento com clientes e consumidores

A expectativa aqui é de que a intensidade da difusão associada à geração 4 evolua de 0,7% para 22,8% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, de 15,4% para 36%. Como consequência o percentual entre as gerações 3 e 4 evoluiria de 16,2% em 2017 para 58,8% em 2027, correspondendo a um crescimento de 264% naquela participação.

Gestão de negócios

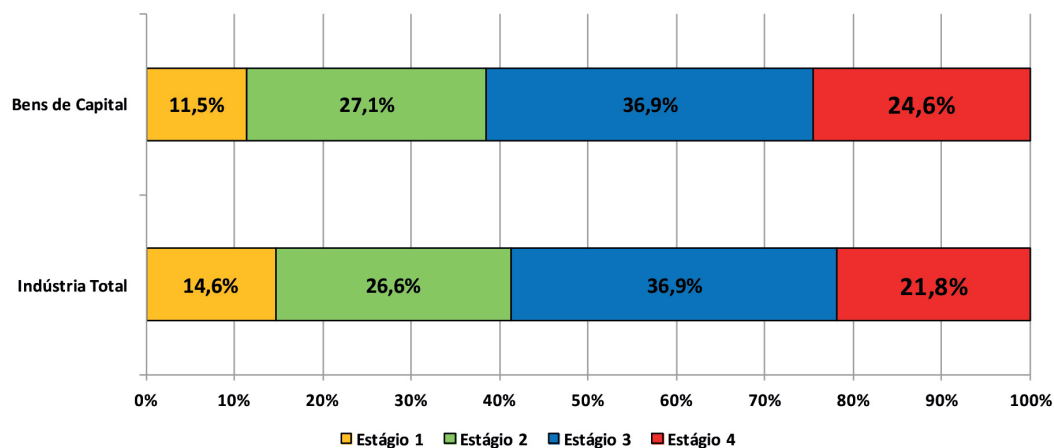
A intensidade da difusão associada à geração 4 deve crescer de 0,7% para 26,5% das empresas do painel entre 2017 e 2027. O percentual de empresas localizadas na geração 3 também tende a se elevar, evoluindo de 19,1% em 2017 para 38,2% em 2027. Como consequência o percentual nessas duas gerações passaria de 19,9% para 64,75% – um crescimento de 226% na participação.

A2.5 Difusão futura – comparação entre funções

É possível também comparar a expectativa de difusão futura de tecnologias digitais entre as empresas de Bens de Capital com o conjunto da indústria. Nesse sentido consideram-se dois aspectos: a expectativa de posicionamento futuro das empresas nas diversas gerações tecnológicas (Gráfico A9) e expectativa de adoção futura nas diferentes funções empresariais analisadas (Gráfico A10).

Com relação ao primeiro aspecto, no caso do SP de Bens de Capital, verifica-se que 24,6% das empresas tinham expectativa de atingir a geração 4, percentual acima do total geral do painel (21,8%). Quando se considera o conjunto das gerações 3 e 4, esse percentual atingia 61,5% no sistema produtivo de Bens de Capital, valor superior à média geral (58,7%).

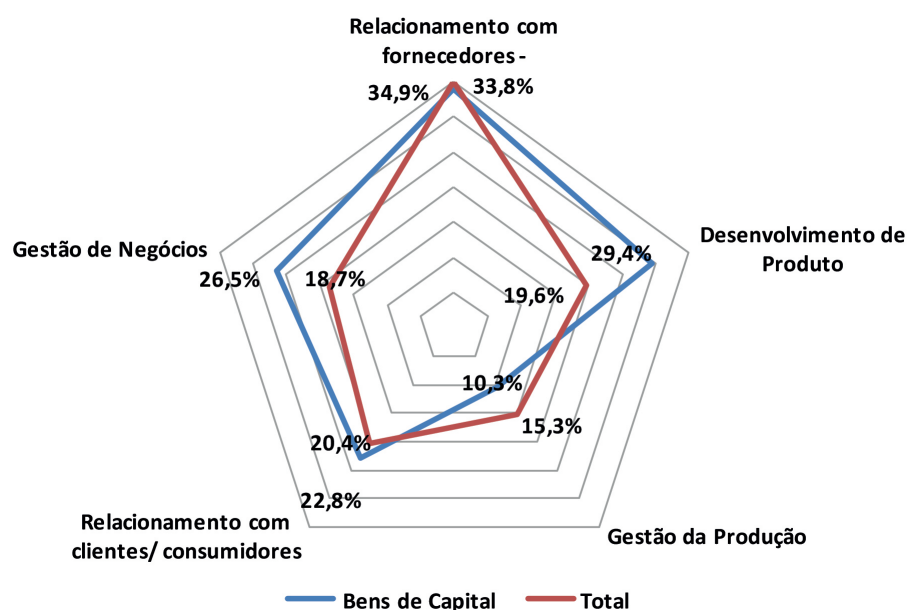
Gráfico A9 – Distribuição dos respondentes segundo as gerações tecnológicas digitais, futuro, em % do número de empresas – SP Bens de Capital e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

No caso da expectativa de adoção futura das tecnologias da geração 4 nas diferentes funções empresariais analisadas, a taxa de difusão entre os respondentes é maior do que a média geral para todas as funções, com exceção da gestão da produção, onde ocorreria o inverso. Onde haveria maior expectativa de difusão futura nos setores de Bens de Capital seria nas funções de gestão de negócios (26,5% contra 18,7%) e de desenvolvimento de produto (29,4% contra 19,6%), conforme ilustrado pelo Gráfico A10.

Gráfico A10 – Percentual de respondentes com expectativa de posicionamento na geração tecnológica digital 4.0 por funções organizacionais, em % do número de respondentes – SP bens de capital e total da indústria



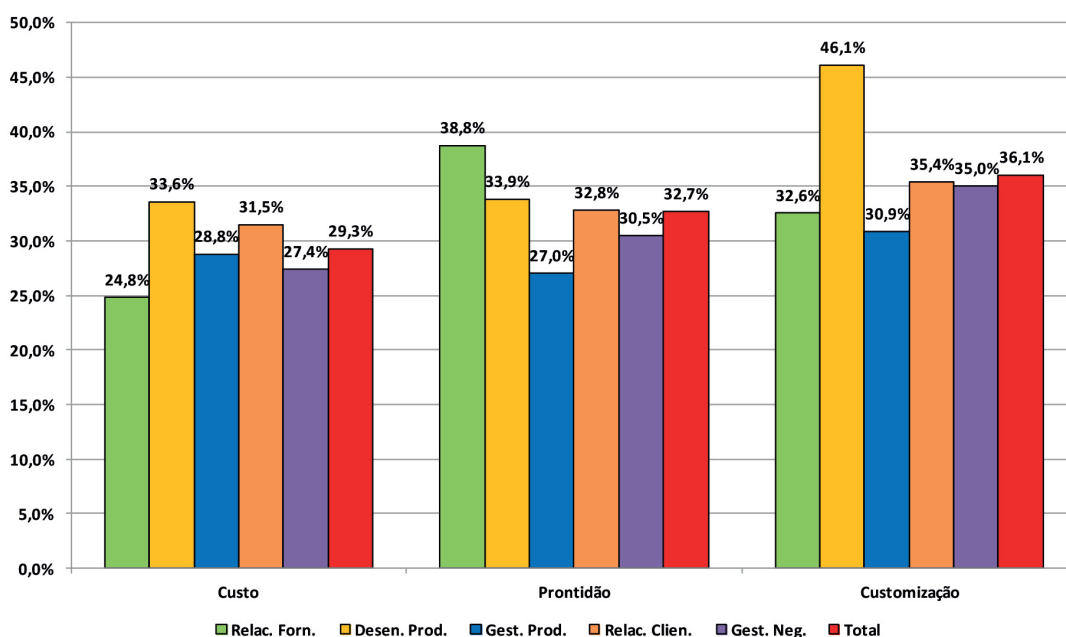
Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.6 Impactos esperados da adoção das tecnologias da geração digital 4.0

Um dos aspectos contemplados na pesquisa de campo que influencia diretamente a adoção de inovações disruptivas pela indústria brasileira refere-se aos impactos atuais e esperados da adoção dessas tecnologias sobre a competitividade, a partir da consideração de determinados atributos competitivos. Em particular, três atributos foram considerados: custo, prontidão e customização. O Gráfico A11 apresenta o percentual de empresas que indicaram que a adoção de tecnologias 4.0 terá um alto impacto sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização).

No caso do total geral obtido pela agregação das funções organizacionais, há alguma variação entre os percentuais de empresas que apontaram alto impacto para os três atributos considerados, com maiores percentuais associados ao atributo “customização”. Já as informações desagregadas para as diferentes funções organizacionais revelam o mesmo padrão: maior relevância do atributo “customização”. A única exceção é o caso do Relacionamento com fornecedores, na qual se verifica alto impacto associado ao atributo “prontidão”. Destaca-se também o percentual consideravelmente mais elevado atribuído ao atributo “customização” no caso da função de Desenvolvimento do produto, refletindo especificidades da dinâmica competitiva setorial.

Gráfico A11 – Percentual de respondentes que indicaram alto impacto das tecnologias da geração digital 4.0 sobre a competitividade, por atributo competitivo (custo, prontidão, customização), hoje, em % do número de empresas – SP Bens de Capital

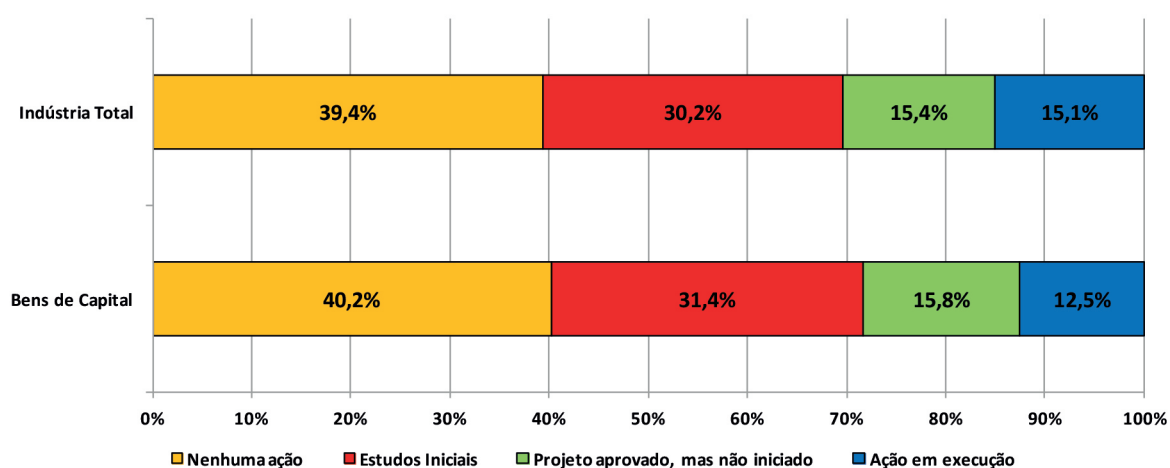


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

A2.7 Ações para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0

Na perspectiva de avaliar a resposta estratégica das empresas face aos impactos potenciais das tecnologias 4.0, perguntou-se às empresas se há ações em curso visando à incorporação dessas inovações (Gráfico A12). As evidências mostram que a intensidade dos esforços para incorporação das tecnologias 4.0 nas atividades das empresas é ainda bastante limitada. Para o SP Bens de Capital, o percentual de empresas que relatavam existência de ações em execução (12,5%) era inferior ao observado para o conjunto do painel (15,1%). Mas quando se consideram também as empresas com projeto aprovado, o percentual observado nesse sistema produtivo (28,3%) também era inferior ao observado para o conjunto do painel (30,4%).

Gráfico A12 – Ações indicadas pelos respondentes para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0, hoje, em % do número de respondentes – SP Bens de Capital e total da indústria

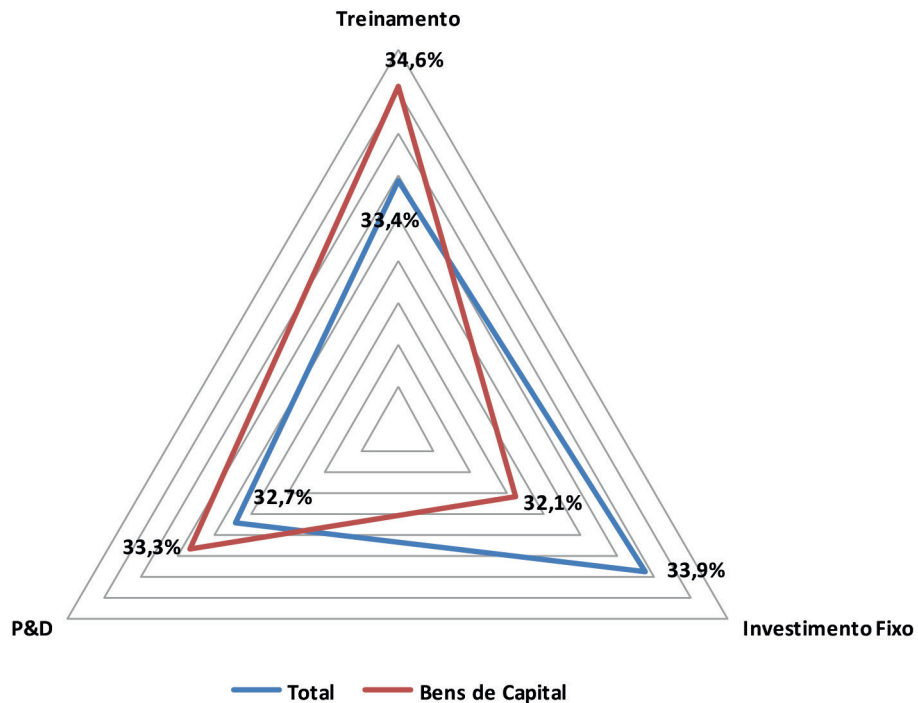


Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

O Gráfico A13 compara o percentual de empresas que apontavam ações em execução no SP Bens de Capital para as três dimensões investigadas – investimento, P&D e treinamento. Pode-se verificar que há um ligeiro predomínio das ações em execução na dimensão “treinamento”. Comparativamente ao total do painel, observa-se uma maior intensidade de esforços em treinamento e P&D e uma menor intensidade no caso de investimento.

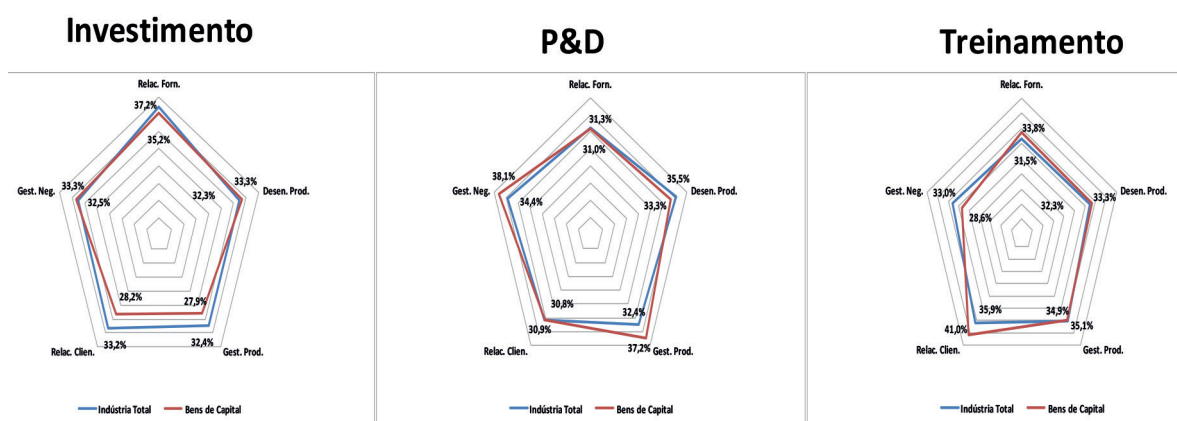
Quando se faz o detalhamento por função empresarial (Gráfico A14), verifica-se que era maior o percentual de empresas no SP Bens de Capital com ações em execução relacionadas a treinamento na função de Relacionamento com clientes, destacando-se também as ações na área de P&D nas funções de Gestão da produção e Gestão de negócios.

Gráfico A13 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0, hoje, esforços em investimento, P&D e treinamento – SP Bens de Capital e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Gráfico 14 – Percentual de respondentes com ações em execução para incorporação das tecnologias da geração digital 4.0 – SP Bens de Capital e total da indústria



Fonte: Elaboração própria com base nos resultados da pesquisa de campo.

Em linhas gerais as evidências corroboram a constatação de que, não obstante a expectativa de aceleração da difusão de tecnologias 4.0, da elevada probabilidade de as mesmas se tornarem dominantes nos setores de atuação das empresas e do seu impacto potencial sobre os diferentes atributos da competitividade, o esforço efetivamente realizado pelas empresas visando à incorporação dessas tecnologias é ainda bastante limitado.

A3 Considerações finais

Como tendência geral, observa-se hoje uma taxa de adoção das tecnologias de quarta geração extremamente reduzida. Para o horizonte de 2027, entretanto, espera-se uma importante elevação da taxa de adoção dessas tecnologias, que deve estar fundamentada na percepção do seu caráter disruptivo na dinâmica competitiva e na possibilidade de obtenção de ganhos efetivos em atributos determinantes da competitividade.

IEL/NC

Paulo Afonso Ferreira
Diretor-Geral

Gianna Cardoso Sagazio
Superintendente

Suely Lima Pereira
Gerente de Inovação

Afonso de Carvalho Costa Lopes
Cândida Beatriz de Paula Oliveira
Cynthia Pinheiro Cumarú Leodido
Débora Mendes Carvalho
Julieta Costa Cunha
Mirelle dos Santos Fachin
Rafael Monaco Floriano
Renaide Cardoso Pimenta
Zil Miranda
Equipe Técnica

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Área de Administração, Documentação e Informação – ADINF

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Gerente-Executivo de Administração, Documentação e Informação

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização Pré e Pós-Textual

Execução Técnica

Instituto de Economia da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas - Unicamp

Rodrigo Sabbatini
Adriana Marques da Cunha
Beatriz Bertasso
José Augusto Ruas
Autores

Luciano Coutinho
João Carlos Ferraz
David Kupfer
Mariano Laplane
Luiz Antonio Elias
Caetano Penna
Fernanda Ultremare
Giovanna Gielji
Mateus Labrunie
Henrique Schmidt Reis
Carolina Dias
Thelma Teixeira
Execução Técnica

Editorar Multimídia
Revisão Gramatical, Projeto Gráfico e Diagramação



MOBILIZAÇÃO EMPRESARIAL
PELA INOVAÇÃO

Execução Técnica:



Iniciativa:



Confederação Nacional da Indústria

CNI. A FORÇA DO BRASIL INDÚSTRIA

Realização:



Iniciativa da CNI - Confederação
Nacional da Indústria